Mineralogie

Die Morphologie der Anfangsstadien beim Wachstum von Steinsalzkugeln

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades

der Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Schlesischen Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Breslau

vorgelegt von

Hans Nitschmann

aus Freystadt N/Schl.

1939

Buchdruckerei Richard Mayr, Würzburg.

Referent: Professor Dr. K. Spangenberg
Korreferent: Professor Dr. Jul. Meyer

Examen rigorosum: 28. Oktober 1938

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Gedruckt mit Genehmigung der Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Schlesischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Breslau.

Inhaltsübersicht.

Seite

Einleitung: Zweck und Grundlagen der Arbeit . . . 5

I. Hauptteil: Apparate und Arbeitsmethodik.

A. Wachstumsapparatur.

1. Prinzip 7
2. Thermostaten 7
3. Wachstumsgefäß 9
4. Luftleitungssystem 10
5. Antriebsvorrichtung 12
6. Lösung 12

B. Versuchsmaterial.

1. Ausgangsmaterial 14
2. Gütebeurteilung 15
3. Schleif- und Bohrvorgang 16
4. Behandlung der Wachstumskörper . . . 16
5. Inaktivierung der Oberfläche 17

C. Versuchsreihen.

1. Wachstumsgemeinschaft 18
2. Beschreibung der Reihen K 19
3. Beschreibung der Reihen N 21
4. Beschreibung der Reihe Z 23
5. Beschreibung einer orientierenden Versuchsreihe . 24

D. Vermessungsverfahren.

1. Goniometer 25
2. Photographische Einrichtung 27
3. Tiefentaster 28
4. Ausmessung der Flächendurchmesser . . . 28

II. Hauptteil: Versuchsergebnisse.

A. Besprechung der goniometrischen und photographischen Ergebnisse der Hauptversuchsreihen K und N . . 29

1. Ergebnisse der Versuchsreihe K 1 . . . 30

2. Ergebnisse der Versuchsreihe K 2 . . . 41
3. Ergebnisse der Versuchsreihen N 1 und N 2 . . 53
4. Ergebnisse der Versuchsreihe N 3 . . . 57

B. Bericht über orientierende Vorversuche anderer Wachstumsstadien.
1. Beobachtungen an zylindrischen Oberflächenstücken 69
2. Beobachtungen an polyedrischen Wachstumskörpern 73

C. Größe und scheinbarer Krümmungsradius der Flächengebiete.
1. Die Breite der Flächen 76
2. Die scheinbaren Krümmungsradien . . . 78

D. Ergebnisse von Messungen der Verschiebungsgeschwindigkeiten.
1. Bestätigung der Ergebnisse von A. Neuhaus . 80
2. Fehlerquellen bei der Bestimmung der Verschiebungsgeschwindigkeiten 81

E. Zusammenfassender Vergleich der Ergebnisse.
1. Feinausbildung und Persistenz derselben . . 83
2. {100}-Gebiet 85
3. {111}-Gebiet 86
4. {210}-Gebiet 87
5. {110}-Gebiet 87
6. {510}-Gebiet 88
7. {911}-Gebiet 89

Schluß: Folgerungen aus den Versuchsergebnissen . . . 90

Zusammenfassung 92

Einleitung.

Zweck und Grundlagen der Arbeit.

Für messende Untersuchungen des Kristallwachstums aus Lösungen sind insbesondere von K. Spangenberg im Verein mit seinen Schülern (F. Gille und K. Spangenberg [2, S. 247], K. Spangenberg [9, S. 1229—1230] und A. Neuhaus [7, S. 21—27]) Apparaturen und Methoden ausgearbeitet worden, die sich als praktisch und prinzipiell einwandfrei erwiesen haben. Sie wurden mit dem Ziel entwickelt, möglichst konstante und reproduzierbare Übersättigungsbedingungen für die wachsenden Kristalle zu schaffen. Diese Apparatur besaß noch eine Reihe von Mängeln, auf die in der ausführlichen Beschreibung bei A. Neuhaus (7, S. 21 ff) bereits hingewiesen werden mußte. Die übliche Bauart der Thermostaten gestattete noch nicht, derartig lange andauernde Versuche durchzuführen, ohne daß nicht erhebliche Störungen infolge Versagens einzelner mechanischer Teile bisweilen eintraten. Die im Wachstumsgefäß, wenigstens bei Beendigung des Versuches, wirksam gewesene Übersättigung ließ sich nicht zahlenmäßig genau erfassen. Unerwünschte Keimbildung, besonders an dem von außen durchgeführten Rührer, war nicht immer zu vermeiden. Die Ausführung der Luftleitung war noch wenig vervollkommnet und erlaubte bei höheren Durchleitungsgeschwindigkeiten keine restlose Trocknung. Auch die Absorption und Rückwägung der aus dem Wachstumsgefäß fortgeführten Wassermenge wies keine befriedigenden Ergebnisse auf. Die genannten Mängel sind neben anderen die, deren Beseitigung unbedingt erforderlich für zuverlässige Versuchsergebnisse ist, besonders wenn mehrere von ihnen quantitativ miteinander verglichen werden sollen.

Außerdem war es notwendig, die früher nur qualitativen Beobachtungen über die morphologische Entwicklung der Hauptwachstumsgebiete durch Zahlenangaben, vor allem goniometrische, zu ergänzen. Wie Ausführungen bei A. Neuhaus (7, S. 72) z. B. für das

{210} zeigen, können ohne diese Voraussetzung die Ausmessungen der Zentraldistanzen beträchtlichen Fehlern unterworfen sein. „Es zeigte sich gelegentlich am {210} ein deutlicher, mitten durch die Fläche gehender Riß parallel der Kombinationskante mit der benachbarten {100}. Jede einzelne der beiden Hälften einer solchen gespaltenen Fläche verhielt sich dann anscheinend, soweit die zufälligen Messungen ergaben, wie eine besondere Kristallfläche mit eigener Verschiebungsgeschwindigkeit." Auch die häufig beobachtete Streifung und Verrundung der einzelnen Kristallflächen galt es genauer zu erfassen. Überhaupt wird der Entwicklung der Vizinalflächen mit Rücksicht auf die später zu gebende molekulartheoretische Deutung ganz besondere Aufmerksamkeit zu widmen sein. Die morphologischen Erscheinungen der Flächengebilde, die beim Kugelwachstum und auch bei Verwendung anders begrenzter Ausgangskörper entstehen, näher zu untersuchen, ist Aufgabe folgender Arbeit.

1. Hauptteil:

Apparate und Arbeitsmethodik.

A. Wachstumsapparatur.

1. Prinzip. Um das gesetzte Ziel zu erreichen, war es notwendig, alle Mängel bisher benutzter Apparaturen zu beseitigen und ihre Konstanzbedingungen zu verfeinern. An dem Prinzip der Versuchsanordnung, wie sie nach A. Neuhaus (7) auch von H. Spehl (11) und E. Ernst (1) verwendet wurde, ist nichts geändert worden. In einer möglichst temperaturkonstanten, genau gesättigten und gut gerührten Lösung wird durch einen langsamen und genau bestimmten trockenen Luftstrom eine Übersättigung (abgekürzt: Ü.S.)*) erzeugt, wobei die Erzeugung in der Zeiteinheit während der Versuche konstant gehalten wird. Alle anderen Einflüsse auf den Konzentrationszustand der Lösung, sofern sie nicht vom wachsenden Kristall selbst herrühren, sollen ausgeschaltet werden.

2. Thermostaten. Eine wesentliche Voraussetzung hierzu ist die Konstanz der Temperatur. Dabei wurde eine Verbesserung der bisher gewählten Bedingungen notwendig. Hat man nämlich eine Temperaturkonstanz von einigen hundertstel Grad Genauigkeit, so bedingen diese Schwankungen Änderungen der erzeugten Ü. S. Diese sind bei der praktisch in Betracht kommenden Geschwindigkeit für die Luftdurchleitung bedeutend größer als die während einer Regelperiode durch den Luftstrom erzeugte Ü. S. Für die von E. Ernst (1) angegebenen Versuchsbedingungen ergibt sich beispielsweise, daß für die Temperatur von 30,45° C durch die Schwankungen von ± 0,03° C bei 2,6 l Lösungsmenge eine Salzmenge von 31,7 mg NaCl möglicherweise angelagert oder abgelöst werden

*) Eine Zusammenstellung der benutzten Abkürzungen findet sich am Schluß der Arbeit. Hinsichtlich der Deutung spezieller Ausdrücke sei auf die Arbeiten von K. Spangenberg (9) und A. Neuhaus (7) verwiesen.

kann. Dieser Höchstbetrag, der berechnet wurde mit dem spezifischen Gewicht gesättigter Steinsalzlösung zu 1,195 und der Änderung des Gehaltes an NaCl von 17 mg pro 1° C und 100 g Lösung, wird nur deswegen nicht vollkommen erreicht, weil die Reaktionsgeschwindigkeit in dieser Nähe des Gleichgewichtes sehr gering ist. Die in einer Stunde durch den Luftstrom zur Anlagerung gebrachte Salzmenge beträgt aber nur 8,0 mg bei 22 l pro Tag, bzw. 5,4 mg bei 14,8 l pro Tag Durchleitungsgeschwindigkeit*). Auf diese Art wird der erzeugten Übersättigung eine periodische Schwankung aufgeprägt, deren Zeitdauer von dem Thermoregler bestimmt wird. Ihr absoluter Betrag kann um mehr als das Zehnfache die gewollte Ü. S. übertreffen, selbst wenn man mit einer verhältnismäßig langen Regeldauer von 20 Minuten rechnet. Es wäre denkbar, daß gemäß den molekulartheoretischen Vorstellungen über das Kristallwachstum nach W. Kossel und I. N. Stranski im Augenblick der höchsten Ü. S. Anlagerungsschritte ermöglicht werden, die bei der durchschnittlichen Ü. S. überhaupt nicht eintreten könnten. Die Temperatursteigerung im Regelintervall braucht hinterher durchaus nicht den — für die durch den Luftstrom erzeugte mittlere Ü. S. — „unerlaubten" Wachstumsvorgang wieder aufzuheben.

Der 26 l fassende, mit Gas geheizte Thermostatenkessel, der das Wachstumsgefäß (W.Gef.) aufnahm, wurde daher durch einen mit Xylol, Sperrflüssigkeit und Quecksilber gefüllten Thermoregler auf 31,225° ± 0,002° C konstant gehalten. Wie die Ablesungen am Beckmannthermometer mit vorgesetzter Lupe ergaben, liegen die Schwankungsgrenzen bei einer Versuchsdauer von etwa 10 Tagen noch enger. Damit wurde erreicht, daß bei 3,6 l Lösungsmenge infolge dieser sehr geringen Temperaturänderung nur eine Salzabscheidung bzw. -ablösung von höchstens 2,9 mg möglich ist. Die unvermeidliche Schwankung ist nun von derselben Größenordnung geworden wie die durch den Luftstrom erzeugte Ü. S. in einem ver-

*) Bei einem Vergleich mit den Zahlenangaben von E. Ernst (1, S. 41) ist zu beachten, daß für die vorliegenden Berechnungen die Wassermenge in einem Liter Luft mit 24,15 mg eingesetzt wurde, wie dies dem Sättigungsdruck über gesättigter Steinsalzlösung von 30,5° C entspricht.

gleichbaren Zeitraum. Erreicht wurde diese hohe Temperaturkonstanz einmal durch intensive Rührung der Badflüssigkeit Glyzerin und geeignete Bauart des Thermoregulators. Sein Gesamtinhalt von etwa 250 ccm Xylol war auf acht dünnwandige Zylinder verteilt, um eine schnelle Durchwärmung der Reglerfüllung zu erzielen. Die Verwendung geschlitzter Röhrchen aus Platin an der Verschlußstelle des Gasstromes durch das Quecksilber wirkte sehr ausgleichend auf die Reglertätigkeit.

Erfahrungen haben gelehrt, daß der Thermostatenkessel nach oben einen Abschluß erhalten muß, damit nicht infolge der kälteren Umgebung an der Innenseite des Deckels des W.Gef. der Taupunkt für die Luft über der Lösung erreicht wird. Die ausführlichen Darstellungen bei A. Neuhaus (7, S. 26) zeigen, wie stark der Sättigungspunkt im W.Gef. durch zurücktropfendes Kondenswasser verschoben werden kann. Die Erwärmung der Luft über dem W.Gef. auf eine Temperatur, die der in der Lösung sehr nahe kommt, ist auch aus einem weiteren Grunde zu fordern. Von der Oberseite her ragen Rührer und Kristallträger in die Lösung hinein und können ihren Gleichgewichtszustand beeinflussen. Am unangenehmsten würde sich dies bemerkbar machen, wenn dabei außen eine niedrigere Temperatur herrscht, da dann gerade an den Durchstoßstellen der Rührer und Kristallträger, die ohnehin schon Quellen einer unerwünschten Keimbildung sein können, auf der Lösungsoberfläche die Möglichkeit einer solchen noch wahrscheinlicher gemacht wird. Aus diesen Gründen wurde auf den Thermostatenkessel und ihn teilweise einschließend ein zweiter Thermostat aufgesetzt, der innen hohl gearbeitet war. Die Temperatur lag 0,8° C über der Versuchstemperatur mit einer Genauigkeit von ± 0,02° C. Die Grenzen müssen deshalb so eng gewählt werden, damit nicht die oben beschriebene Verfeinerung der Temperaturkonstanz des unteren Hauptthermostaten durch eine Überlagerung mit groben Schwankungen des oberen Nebenthermostaten wieder hinfällig wird. Dieses empfindliche Thermostatengebilde wurde in einem Kellerraum aufgestellt, dessen Temperatur 20° ± 1° C betrug.

3. Wachstumsgefäß. Als W.Gef. diente ein Glaszylinder mit 4,6 l Inhalt. Auf den plan geschliffenen Rand wurde eine 10

mm dicke runde Glasscheibe mit Bakelite-Zement Nr. 6052 aufgekittet. Dieses Dichtungsmaterial ist bei Temperaturen bis zu 100° C völlig fest und bei geeigneter Behandlung auch monatelang vakuumbeständig. Drei kräftige Messingklammern schützten die Kittschicht gegen mechanische Beanspruchung, indem sie Glaszylinder und Deckel zusammenpreßten. Die sieben notwendigen Durchführungen für Rührer, Luftleitung und vier Kristallträger bestehen aus Quecksilbernäpfen, die mit Schliffteilen auf den Deckel gesetzt und ebenfalls mit Bakelite gedichtet werden. Auf diese Weise gelang es, ein wirklich luft- und feuchtigkeitsdichtes W.Gef. zu erhalten. Glasrohreinsätze für die Durchführung der Kristallträger, die leicht gewechselt werden können, machten es möglich, daß etwaige Tropfen der Mutterlauge, die beim Entnehmen der Wachstumskörper (W.K.) andernfalls leicht am Deckel haften bleiben, restlos von ihnen abgefangen und unschädlich gemacht wurden. Ein Auswischen der Durchführungen sowie die damit verbundene Gefährdung der Keimfreiheit der Lösung entfiel dadurch vollständig. Die Durchführung und Halterung des W.Gef.-Rührers ist so genau gearbeitet, daß eine bei den älteren Apparaturen beobachtete Verunreinigung der Lösung durch Hereinfallen von Fremdkörpern, die etwa in abgeschliffenen Glasteilchen bestehen, ausgeschlossen ist.

4. Luftleitungssystem. Bei allen bisher angestellten Versuchen, die nach dem Prinzip der Erzeugung der Ü. S. durch Lösungsmittelentzug mittels eines getrockneten Luftstromes arbeiteten, zeigten sich Störungen und Schwierigkeiten im Luftleitungssystem und zwar besonders dann, wenn man das entnommene Lösungsmittel wieder absorbieren wollte. Sieht man davon ab, daß bei den Berechnungen immer nicht berücksichtigt wurde, daß die Sättigungsgrenze der Luft mit Feuchtigkeit über Salzlösungen im allgemeinen geringer ist als über reinem Wasser, so wurden die auch dann noch verbleibenden Unstimmigkeiten zwischen Substanzabscheidung aus der Lösung und Anlagerung an die W.K., wie sie stets beobachtet worden sind, in den meisten Fällen auf Keimbildung zurückgeführt. Letztere war bei den Mängeln der in Frage kommenden Apparaturen nicht zu vermeiden. Führt man nun Blindversuche zur Prüfung des Trocknungsgrades der Luft genügend lange durch, so zeigt sich, daß ein Fehler auch von der Verwen-

dung von Gummiverbindungen zwischen den Glasteilen herrührt. Gummiteile geben nämlich von außen aufgenommenes Quellungswasser an den trockenen Innenraum ab. Da aber zur Bestimmung der wirksamen U. S. nicht Feuchtigkeit in das Leitungssystem an unkontrollierbaren Stellen eintreten darf, wurden alle Verbindungs- und Anschlußstellen der Trocknungsapparate unter geringer Änderung ihrer üblichen Formen mit Quecksilber gedichtet. Es gelingt, wenn man außerdem genaue Behandlungsvorschriften, wie sie von Ostwald-Luther (Hand- und Hilfsbuch zur Ausführung physikochemischer Messungen) angegeben werden, einhält, auch Absorptionsgefäße mit ungefähr 100 g Bruttogewicht mit einer Genauigkeit von 0,5 mg zurückzuwägen und die einmal getrocknete Luft auch als wirklich trockene Luft durch das selbstverständlich vorgetrocknete Leitungssystems zu schicken und trocken zu erhalten.

Der Luftstrom wurde mit einem Zwergölkompressor erzeugt und als Druckluft durch die Absorptionsgefäße vor dem W.Gef., als Saugluft durch jene hinter dem W.Gef. geschickt. Die Durchleitungsgeschwindigkeit wurde mit Kapillaren eingestellt und lag zwischen 20 und 40 l/Tag. Die Luftmenge wurde mit einer Versuchsgasuhr gemessen, die 0,004 l abzulesen gestattete. Passende Druckreglerflaschen in beiden Teilen des Leitungssystems sorgten dafür, daß im W.Gef. weder Über- noch Unterdruck eintrat. Zur Trocknung der Luft dienten ein Chlorkalziumturm und zwei mit Schwefelsäure gefüllte Gasintensivwaschflaschen. Die letzte von ihnen war mit Quecksilberverschluß an das vollständig verblasene Glasrohr-Luftleitungssystem angeschlossen. Hinter das W.Gef. wurden drei weitere Gasintensivwaschflaschen geschaltet. Eine von ihnen war in den Doppelthermostaten mit eingebaut, damit trotz der bei etwa 30° C beginnenden Verschlechterung der Trockenfähigkeit der konzentrierten Schwefelsäure die Hauptmenge des entzogenen Lösungsmittels bei dieser Temperatur absorbiert und eine Kondensation in der Leitung vermieden wurde. Diese Möglichkeit besteht in großem Maße, da bei der langsamen Durchleitungsgeschwindigkeit mit einer vollständigen Sättigung der Luft mit Wasserdampf zu rechnen ist, und da somit schon ein Temperaturabfall von etwa 10° C, der zwischen Versuchs- und Außentemperatur immer vor-

handen ist, den Taupunkt unterschreiten würde. Vor seinem Eintritt in das W.Gef. wurde der Luftstrom in dünnwandigen Glasröhren auf Thermostatentemperatur erwärmt. Vortrocknung und Rücktrocknung arbeitete auch bei hoher Literzahl pro Tag einwandfrei und blieb selbst bei sehr langen Versuchen störungsfrei.

5. Antriebsvorrichtungen. Da die Wachstumsversuche eine Dauer von mehreren Tagen durchschnittlich beanspruchen, waren bei älteren Versuchen Störungen durch Stehenbleiben der Antriebs- und Rührvorrichtung recht häufig. Dadurch werden einmal Temperaturschwankungen zum mindesten erheblich vergröbert, da die Durchmischung der Badflüssigkeiten stillgelegt ist. Für die gleichzeitig ebenfalls ungerührte Lösung folgt, daß die erzeugte Ü. S., da nur an der Oberfläche das Wasser entzogen wird, sich nach unten in das Innere des W.Gef. nur durch Diffusion fortpflanzt und somit sich eine einseitige Stoffzufuhr zu den W.K. ergibt. Wird andererseits der Luftstrom unterbrochen, so sind Änderungen der Höhe der wirksamen Ü. S. zu erwarten, die ebenfalls recht unerwünscht sind. Um von dieser Seite keine Beeinträchtigung der Versuche zu bekommen, wurde auf eine laboratoriumsmäßige Ausführung aller Rühr- und Antriebsvorrichtungen verzichtet. Unter Verwendung der in der Industrie gemachten Erfahrungen wurde durch Benutzung besonderer Kettentriebe und unter einer peinlich genauen Kontrolle und Pflege der maschinellen Anlagen ein derartig hoher Grad von Sicherheit erreicht, daß praktisch keine Störung mehr eintrat*). Die immer gleichmäßigen Rührgeschwindigkeiten betragen im W.Gef. 110 Umdrehungen in der Minute, für die Thermostaten mit dem zäheren Glyzerin 150 U./Min.

6. Lösung. Wie bereits oben schon mehrfach erwähnt worden ist, beruht einer der wesentlichsten Mängel aller früheren Apparaturen darin, daß in keinem Falle Keimbildung restlos vermieden werden konnte. Eine Reihe von Gefahrenquellen in dieser Hinsicht gelang es nach den vorstehenden Ausführungen bereits zu beseitigen. Die wichtigste Voraussetzung aber wird immer sein, die Lösung von Anfang an keimfrei herzustellen und ihr jede Mög-

*) Herrn K. Littmann sei auch an dieser Stelle für die Anfertigung der Thermostaten und die Wartung der maschinellen Anlage bestens gedankt.

lichkeit zur Bildung von Keimen zu nehmen. Es muß an dieser Stelle betont werden, daß in Bezug auf den Reinheitsgrad der Lösung nicht sauber genug gearbeitet werden kann. Es läßt sich nämlich nicht immer von außen mit Sicherheit feststellen, ob nicht doch Keimbildung eingetreten ist. Sind erst einmal Keime in der Lösung vorhanden, so wachsen sie mit und ändern damit die Versuchsbedingungen erheblich. Welchen wesentlichen Einfluß die Anwesenheit kleinster Keime auf die Verschiebungsgeschwindigkeiten (V.G.) hat, zeigen bei A. Neuhaus (7, S. 45/46) zwei sonst vergleichbare Versuchsreihen. Damit wird es aber unmöglich, Versuche quantitativ miteinander zu vergleichen, wenn teilweise Keimbildung eintrat und teilweise nicht. Die Voraussetzung der strengen Gleichheit der Versuchsbedingungen kann sicherlich keine Gültigkeit mehr haben, wenn von der erzeugten Salzabscheidung während der Gesamtwachstumszeit die W.K. wechselnde Mengen aufnehmen, wie dies auf Grund der von E. Ernst (1, Tabelle I bis IV) gemachten Zahlenangaben bei dessen Versuchen der Fall gewesen sein muß. Grundsätzlich sind alle Versuche, bei denen Keimbildung bereits beobachtet werden kann, zu verwerfen. Es muß erreicht werden, daß die Lösung erst gar nicht die Möglichkeit besitzt, Keime zu bilden.

Daß man zu diesem Ziel gelangen kann, zeigen neben älteren Beobachtungen zwei Arbeiten der letzten Jahre. Jul. Meyer und W. Pfaff (6) haben durch sorgfältiges Filtrieren der von ihnen untersuchten Schmelzen erreicht, daß keine spontane Kristallisation mehr eintrat. W. Rix (8) bestätigte an Salol dies Ergebnis. „Die Tatsache, daß spontane Kristallisation nur in den nicht gereinigten (filtrierten) Schmelzen auftritt, führt zwangsläufig zu dem Schluß, daß die Ansatzpunkte der Kristallisation nicht aus flüssigen Molekülen oder Molekülgruppen, sondern aus abfiltrierbaren festen Körperchen bestehen."

Nachdem bereits oben an mehreren Stellen darauf hingewiesen wurde, welche Maßnahmen den Zutritt von Fremdstoffen in die Lösung verhindern, wurde die zu den Versuchen benutzte Lösung nach folgendem Verfahren in einer den genannten Bedingungen genügenden Art hergestellt. Natriumchlorid (Merck, pro analysi) wurde in destilliertem Wasser gelöst, bis für etwa 15° C Sätti-

gung eingetreten war. Diese Lösung wurde durch einen Glasfiltriertiegel (Schott G 4) gesaugt und unter möglichster Vermeidung des Zutritts staubhaltiger Luft in das peinlichst gereinigte W.Gef. gefüllt. Durch Einhängen von Spaltstücken, die von aus der Schmelze gezogenen Natriumchloridkristallen stammten, wurde die Lösung für die Thermostatentemperatur nahezu gesättigt. Dann wurden die Spaltstücke durch Kugeln aus Schmelzmaterial ersetzt und die Luftdurchleitung langsam eingeschaltet. Sobald diese eine merkliche Zunahme aufwiesen, wurde die entstandene Ü. S. durch mehrfaches Wechseln der Probekugeln wieder beseitigt. Auf diese Art gelang es, eine keimfreie und fremdstofffreie Lösung herzustellen, die mit einer Steinsalzkugel bei der gegebenen Temperatur im Gleichgewicht war, d. h. definitionsgemäß genau gesättigt war.

Eine solche Steinsalzlösung konnte monatelang zu Wachstumsversuchen benutzt werden, ohne daß Keimbildung bemerkt wurde. Sie ist sogar bei einer recht rauhen Arbeitsweise nicht beobachtet worden. Gelegentlich einer kleinen Änderung am Bau des Thermostaten wurde ein W.Gef., in dem bereits mehrere Versuche durchgeführt worden waren, mit seiner nun ungerührten Lösung in einen Nebenraum gestellt, in dem eine Temperatur von 15° ± 3° C herrschte. Trotz dieses recht plötzlichen Temperaturabfalles von 15° C trat keine Keimbildung ein. Die eingehängte Probekugel verzehrte die durch die Abkühlung erzeugte Ü. S. vollständig, denn selbst nach mehreren Tagen machte die Lösung einen einwandfreien Eindruck. Damit ist gezeigt, daß sie auch nach einigen Wachstumsversuchen noch keine Möglichkeit zur Keimbildung bot. Mithin darf gesagt werden, daß bei den im Folgenden beschriebenen Versuchsreihen keinerlei Keime, auch nicht unsichtbar kleine, im Wachstumsgefäß vorhanden waren.

B. Versuchsmaterial.

1. Ausgangsmaterial. Die Ausgangskörper wurden einmal aus natürlichem Steinsalz*) hergestellt, da an derartigem Material alle bisherigen Wachstumsversuche gemacht worden waren. Da

*) Für die Überlassung geeigneten Materials möchte ich an dieser Stelle Herrn Bergrat Dr. Loewe, Dorndorf (Rhön), bestens danken.

dieses aber recht selten in fehlerarmen und großen Stücken zu erhalten ist und auch der chemische Reinheitsgrad erhebliche Schwankungen aufweisen kann, erschien es zweckmäßig, chemisch reines Natriumchlorid mit für die Untersuchungen heranzuziehen. Zur Zucht von Ausgangsmaterial aus der Schmelze diente eine Apparatur, wie sie von R. W. Pohl*) und S. Kyropoulos (4) entwickelt und von K. Korth (3) und H. Lorenz (5) beschrieben worden ist. Das damit erhaltene Rohmaterial wurde zur Verbesserung seiner Güte sorgsam getempert, indem es nach zwölfstündigem Erhitzen auf 750° C im Laufe von 24 Stunden stufenweise auf 300° C abgekühlt wurde. Dann wurde der elektrische Ofen ausgeschaltet und verschlossen, sodaß das Material während weiterer 10 Stunden langsam auf Zimmertemperatur erkaltete. Aus den natürlichen wie aus den künstlichen Rohmaterialblöcken wurden vorsichtig unter Verwendung besonders feiner scharfer Meißel Spaltwürfel herausgeteilt, die dann der weiteren Behandlung zugeführt wurden.

2. Gütebeurteilung. Die so erhaltenen Ausgangswürfel müssen nun einer genauen Prüfung unterzogen werden, ob sie als Material für W.K. geeignet sind. Es wurde gefordert, daß Einschlüsse, Schleier und Spaltrisse nicht erkennbar sein durften. Um ein Maß für die Güte festzusetzen, wurde die Beschaffenheit der Spaltflächen geprüft. Sie wurden als Spiegel benutzt und galten dann als einwandfrei, wenn sie keine Verzerrung des Bildes hervorriefen. Man konnte nun annehmen, daß grobe Fehllagerungen in dem untersuchten Block nicht auftraten. Eine optische Prüfung auf Spannungsfreiheit verlief meist positiv. Ein Vergleich zwischen natürlichem und künstlichem Material ergab, daß letzteres infolge Fehlens der sogenannten „Parkettierung", d. h. Felderteilung in eine Vielheit fast parallel gelagerter Würfel, wesentlich besser beschaffen war. Versuche, natürliches Steinsalz durch Tempern zu verbessern, schlugen fehl. So erscheinen aus der Schmelze gezogene und vorsichtig getemperte Ausgangskristalle als das geeigne-

*) Herrn Professor R. W. Pohl in Göttingen möchte ich an dieser Stelle für die leihweise Überlassung eines Ofens und eines Kristallhalters mit Kühlvorrichtung sowie seine Hilfe bei der Beschaffung der Apparatur verbindlichst danken.

teste Material, zumal sie infolge ihrer chemischen Reinheit kaum Fremdatome oder -ionen enthalten.

3. Schleif- und Bohrvorgang. Bei schonendster Behandlung erhielten dann die Würfel, die in passender Größe aus dem Rohmaterial gespalten wurden, die gewünschte Gestalt. Meist wurden sie zu Kugeln bearbeitet, bisweilen wurden auch zylindrische Krümmungen oder polyedrische Körper hergestellt. Die Bearbeitung wurde auf feinsten Schmirgelscheiben und in rotierenden halbkugeligen Schleifschalen vorgenommen. Ehe die letzten Abschnitte der Würfelspaltflächen abgeschliffen wurden, erfolgte die Durchbohrung mit einem 0,4 mm starken Spiralbohrer. Eine große Schneidemaschine von Winkel-Zeiß diente nach einer geringen Änderung als Bohrmaschine. Die Enden des Bohrkanals wurden so gewählt, daß sie im späteren Zwischengebiet (Z.G.) lagen. Zur Aufhängung der W.K. kamen Roßhaarschlingen zur Verwendung. Polyedrische Körper lassen sich an der Schneidemaschine recht genau herstellen, wenn man die Schneidescheiben durch feine Schleifscheiben ersetzt. Auch Zylinder oder Teile einer Zylinderoberfläche können auf diese Art angeschliffen werden.

4. Behandlung der W.K. Nach Beendigung des Schleifprozesses wurden die Kugeln mit Alkohol gereinigt und in destilliertem Wasser stark angelöst, damit die durch die mechanische Behandlung gestörten Gebiete weitgehend entfernt wurden. Durchschnittlich wurden hierbei 10% des Gesamtgewichtes abgelöst. Vor Beginn einer Versuchsreihe wurden die W.K. kurz mit Alkohol und destilliertem Wasser behandelt, um eine etwa inaktivierte Oberfläche aufzufrischen. Danach wurden sie mit feinem faserfreien Filtrierpapier — Josephpapier Nr. M der Fa. Schleicher & Schüll — abgetrocknet und in einen mit Chlorkalzium gefüllten Exsikkator gegeben. Nach einer Stunde erfolgte die Wägung. Dann wurden die W.K. in einem Lufthermostaten, dessen Feuchtigkeit durch aufgestellte Näpfe mit Chlorkalzium möglichst absorbiert war, vorsichtig auf 1° C über die Versuchstemperatur erwärmt. Nach ungefähr ¾ Stunde Vorwärmung wurden sie in das W.Gef. eingehängt.

Nach Beendigung einer Wachstumsperiode wurden die W.K. durch sofortiges Abtrocknen mit dem obengenannten Filtrierpapier

von der noch anhaftenden Mutterlauge befreit. Während einer Stunde kühlten sie dann im Exsikkator auf Zimmertemperatur ab und gelangten zur Wägung. Bei allen Untersuchungen, die in möglichst trockenen Räumen ausgeführt wurden, diente grundsätzlich das weiche Josephpapier als Berührungsschutz. Dabei erfolgten die Vermessungen so schnell wie möglich, damit der W.K. nicht länger, als unbedingt notwendig war, in seinem Wachstum unterbrochen wurde. Ehe die Kristalle zu einem weiteren Bewuchs in das W.Gef. eingehängt wurden, wurde eine kurze Reinigung durch etwa eine Minute lang dauerndes Bewegen in 96%igem Alkohol, sowie die oben beschriebene Vorwärmung vorgenommen. Der Gewichtsverlust während aller Untersuchungen und des Reinigens lag innerhalb der Wägegenauigkeit.

5. Inaktivierung der Oberfläche. Daß während der Zeit, in der die W.K. sich außerhalb des W.Gef. befinden, Fremdstoffe auf ihre Oberfläche gelangen können, liegt durchaus im Bereich der Möglichkeit und kann wohl nie ganz vermieden werden, es sei denn, daß es erreichbar wäre, alle Messungen auszuführen, während die W.K. im W.Gef. gelassen werden. Durch sorgsames Arbeiten läßt sich eine derartige „Verunreinigung" auf ein Minimum beschränken, deren restlose Ausschaltung unvermeidlich erscheint. Da ferner der Wachstumsprozeß nicht sofort nach dem Einhängen der W.K. beginnt, erscheint eine „Reinigung" der Oberfläche auf Grund folgender Überlegungen wahrscheinlich. Bei Beginn eines Versuches ist die Lösung nahezu gesättigt, da etwaige Rest-Ü. S. durch Probekugeln entfernt worden sind. Der eingeschaltete Luftstrom erzeugt nun eine Ü. S., die aber erst langsam ansteigt, bis sie Anlagerungsschritte ermöglicht. In dieser Zeit befindet sich also der W.K. mit seiner Umgebung im Gleichgewicht bzw. in großer Nähe desselben. Der Gleichgewichtszustand bedeutet nun, daß ein ständiger Austausch von Einzelbausteinen des Gitters mit denen der isotropen Phase stattfindet, wobei die Zahl der abgetrennten Teilchen gleich der der angelagerten ist. Wenn also während der Vermessungen gröbere Beschädigungen der W.K. vermieden wurden, so können wohl jetzt kleinere Fehler wieder ausgeglichen werden, da richtig orientierte Bausteine fester gebunden sind als fehlerhafte. Bis nun die wirksame Ü.S. sich eingestellt

hat, darf man also ein gewisses Ausheilen der W.K. erwarten. Daß dies restlos geschieht, und daß auch gröbère Störungen verschwinden, kann dagegen kaum angenommen werden. Außerdem ist denkbar, daß vor dieser „Ausheilung" durch das Schwenken in Alkohol Fremdstoffe von der Oberfläche der W.K. rein mechanisch entfernt wurden, sodaß sich ihre Zahl zum mindesten erheblich verminderte. Es erscheint demnach wahrscheinlich, daß eine „Inaktivierung" der Oberfläche, sowie eine zunehmende Verrauhung der Flächen weniger durch die Behandlung der W.K. außerhalb des W.Gef. entstehen, als vielmehr durch andere Ursachen zu erklären sind, die etwa zu hohe Ü.S., Nichtbeseitigung von Rest-Ü.S. oder oben beschriebene Mängel der Apparatur sein können.

C. Versuchsreihen.

1. Wachstumsgemeinschaft. Bei allen Versuchen wurden stets Wachstumsgemeinschaften (W.G.) von mehreren W.K. verwendet. Dieses Prinzip hat den Vorzug, daß für einen quantitativen Vergleich alle W.K. einwandfrei denselben äußeren Bedingungen unterworfen sind. Man kann zwar bei mehreren Versuchen, die nacheinander ausgeführt werden, Temperatur, Rührung und erzeugte Ü.S. streng konstant auf dieselben Werte einstellen. Trotzdem wird bei mehreren nacheinander ausgeführten Versuchen dann und nur dann die wirksame Ü.S. tatsächlich gleich sein, wenn stets genau der gleiche Verbrauch an abscheidbarer Substanz während der ganzen Versuchsdauer eingetreten ist. Unter wirksamer Ü.S. versteht man (vergl. K. Spangenberg [9, S. 1229/30] und A. Neuhaus [7, S. 61 oben und Fußnote 1]) diejenige Ü.S., die sich infolge der Erzeugung — im vorliegenden Falle durch Verdunstung einer bestimmten Menge Lösungsmittel — dadurch im W.Gef. einstellt, daß ein Teil der abscheidbar werdenden Salzmenge von den W.K. verbraucht wird, während ein Rest als im ganzen Wachstumsraum durch die Rührung gleichmäßig verteilte Ü.S. wirksam bleibt. Es erscheint fast unmöglich, bei nacheinander folgenden Versuchen die Bedingung des genau gleichen und gleichartig schnellen Verbrauches der abscheidbaren Substanz zu erzielen. Denn bei einer Änderung der Zahl der W.K. und der

Art des von ihnen erreichten Wachstumsstadiums ist es ausgeschlossen, daß dieser Verbrauch in der gewollten Weise eingestellt werden kann. Selbst wenn man aber Zahl und Art der verwendeten W.K. bei den nacheinander ausgeführten Versuchen möglichst genau gleich hält, so wäre hierfür zu fordern, daß die Größe und das Wachstumsstadium der benutzten W.K. so weitgehend wie möglich gleich sein müßten. Dies ist eine Bedingung, die praktisch nicht zu erreichen sein wird.

Wenn man untersuchen will, ob ein Einfluß des Wachstumsstadiums, d. h. der Art der am W.K. nebeneinander auftretenden Flächen, auf die V.G. vorhanden ist oder nicht, so muß Temperatur, Rührung und wirksame Ü.S. konstant sein. Es gibt für die Einhaltung dieser Bedingung nur die eine Möglichkeit, die zu vergleichenden W.K. in einer W.G. zusammen zu vereinigen. Damit werden einwandfrei alle W.K. für die gesamte Versuchsdauer genau gleichen Bedingungen, vor allem genau gleicher wirksamer Ü.S., ausgesetzt. Wollte man, obwohl eigentlich noch recht wenige Versuchsergebnisse mit allen ihren Feinheiten vorliegen, auf W.G. verzichten, so muß man immer bedenken, daß dann eine Deutung der Vermessungen beträchtlich erschwert, wenn nicht unmöglich wird, weil die einzelnen erhaltenen Daten für verschiedene wirksame Ü.S. gelten. Dies muß um so mehr beachtet werden, da bei den bisher benutzten Apparaturen eine Bildung von Keimen, wenn auch solche bei manchen Versuchen nicht sichtbar waren, nicht ausgeschlossen war. Für die Bedingungen, die E. Ernst (1) für seine Versuche angibt, kann man auf keinen Fall Gleichheit der äußeren Einflüsse annehmen, da beträchtliche Schwankungen aus seinen Zahlenangaben zu entnehmen sind. Mit der oben beschriebenen Apparatur war wohl eine strenge Gleichheit von Temperatur, Rührung und erzeugter Ü.S. zu erzielen, auch war unerwünschte Keimbildung nicht zu befürchten, damit aber mindestens während einer Versuchsreihe auch alle W.K. bei genau der gleichen wirksamen Ü.S. wachsen, mußte eine W.G. gewählt werden.

2. Beschreibung der Reihen K. Für die Untersuchung der Anfangsstadien wurde eine W.G. der W.K. 26, 27, 32 und 33 ausersehen. Alle vier Kugeln waren aus Material hergestellt, das aus der Schmelze gezogen wurde. Die Radien derselben, die aus

den Gewichten der Kugeln — 11,1101 g, 16,0573 g, 17,5493 g und 19,6067 g — berechnet wurden, ergaben sich zu 10,695 mm, 12,087 mm, 12,456 mm und 12,925 mm. Die Kugeln können also als nahezu gleich groß bezeichnet werden, wobei die geringe Abweichung des W.K. 26 kaum eine gröbere Störung bedeutet. Zur allgemeinen Übersicht über die einzelnen Versuchsdaten diene die Tabelle 1. Mit K 1 und K 2 werden zwei nacheinander folgende Bewachsungen derselben W.G. bezeichnet. Die erste Spalte enthält die Versuchstemperatur und die -dauer. In der zweiten sind als gemessene Luftmenge die Zahlen angegeben, die an der Gasuhr abgelesen wurden. Da dort die Luft unter einem höheren Druck steht als in

Tabelle 1.

Zusammenstellung der Versuchsdaten für die Reihen K 1 und K 2.

Versuchsreihe		K 1	K 2
Versuchstemperatur		31,223°C	31,230°C
Versuchsdauer		113,0 Stdn.	61,5 Stdn.
Luftdurchleitung	gem.	157,05 l	115,65 l
		1,39 l/Std.	1,88 l/Std.
	ber.	166,66 l	123,69 l
		1,47 l/Std.	2,01 l/Std.
Wassermenge	theoretisch	3,7928 g	2,7930 g
	gewogen	4,0247 g	2,9872 g
	Differenz	0,2319 g	0,1942 g
NaCl-Abscheidung	theoretisch	1,4530 g	1,0785 g
	gewogen	1,3411 g	0,8978 g
	Differenz	0,1119 g	0,1807 g
	Rest-Ü.S.	0,0098%	0,0155%
Gewichtszunahme (absolut)	W.K. 26	0,2609 g	0,1875 g
	W.K. 27	0,3427 g	0,2397 g
	W.K. 32	0,3600 g	0,2283 g
	W.K. 33	0,3775 g	0,2423 g
Gewichtszunahme (in mg/mm^2)	W.K. 26	0,181	0,129
	W.K. 27	0,186	0,130
	W.K. 32	0,184	0,117
	W.K. 33	0,179	0,115

dem W.Gef., erhält man die wahren Literzahlen, wenn der Überdruck durch Umrechnung berücksichtigt wird. Er betrug bei der Versuchsreihe K 1 im Mittel 46,5, bei K 2 52,8 mm Hg. Mit der entsprechend größeren wahren Luftmenge ergeben sich natürlich dann auch höhere wahre Durchleitungsgeschwindigkeiten. Die entsprechenden Zahlenwerte hierfür sind in der Spalte Luftdurchleitung unter „ber." eingetragen. Die Spalte Wassermenge enthält als wirklich gemessene Größe die hinter dem W.Gef. absorbierte „gewogene" Wassermenge. Die „theoretische" wurde mit der an der Gasuhr abgelesenen Luftmenge und einer maximalen Wasseraufnahme von 24,15 mg/l errechnet. Aus der Differenz beider Wassermengen, die prozentual bei allen praktisch gleich ist, läßt sich der Sättigungsbetrag für die obengenannte wahre Luftmenge nachprüfen. Es ergibt sich dabei, daß bei den relativ langsamen Durchleitungsgeschwindigkeiten im W.Gef. vollständige Sättigung der Luft mit Wasserdampf eintritt.

Die beiden letzten Spalten enthalten die Zunahmen der einzelnen W.K., sowohl in direkt gewogenen g, als auch im Vergleich zur Oberfläche als mg/mm². Diese Werte erlauben eine Prüfung, ob alle W.K. während eines Versuches gleichmäßig gewachsen sind, oder ob durch irgendwelche Einflüsse eine Bevorzugung bestimmter W.K. bei der NaCl-Anlagerung eingetreten ist. Für die Versuchsreihe K 2 sei hier auf das verschiedene Verhalten von W.K. 26 und 27 einerseits und 32 und 33 andererseits hingewiesen. Die relativ größeren Gewichtszunahmen bei W.K. 26 und 27 sind darauf zurückzuführen, daß diese nicht zu Untersuchungen benutzt wurden und die gesamte W.G. vor dem zweiten Bewuchs nicht mit absolutem Alkohol behandelt worden war. Die Zunahme aller vier W.K. zusammen ist in der Spalte NaCl-Abscheidung als „gewogene" eingetragen. Als „theoretische" Abscheidung wurde diejenige Menge NaCl bezeichnet, die auf Grund des entzogenen Wassers hätte zur Anlagerung gelangen können. Die Differenz der beiden Werte stellt ein Maß für die bei Beendigung des Versuches vorhandene wirksame Ü.S. dar, die als Rest-Ü.S. in % besonders vermerkt wurde.

3. Beschreibung der Reihen N. In gleicher Weise sind die Versuchsdaten einer weiteren W.G. in Tabelle 2 zusammen-

gestellt. Hier waren die W.K. 6, 9, 10 und 11 beteiligt, die mit ihren Gewichten von 13,9053 g, 14,5861 g, 14,1330 g und 13,2809 g, sowie den Radien von 11,624 mm, 11,810 mm, 11,690 mm und 11,450 mm praktisch alle gleich groß sind. Die Temperaturen zeigen eine geringe Abweichung für die einzelnen Versuche, die sich aber nicht vermeiden läßt, da sie durch Reinigungsvorgänge am Thermoregler beeinflußt werden und nicht mit so hoher Genauigkeit wieder ausgeglichen werden können. Für die Angaben über die Luftdurchleitung gilt dasselbe, das im vorhergehenden Abschnitt für die Tabelle 1 gesagt wurde. Der Überdruck bei den Versuchsreihen N, der mit der verschiedenen Füllhöhe der Trocknungsappa-

Tabelle 2.

Zusammenstellung der Versuchsdaten für die Reihen N 1, N 2 u. N 3.

Versuchsreihe		N 1	N 2	N 3
Versuchstemperatur		31,206°C	31,229°C	31,231°C
Versuchsdauer		229,2 Stdn.	93,0 Stdn.	227,0 Stdn.
Luftdurchleitung	gem.	335,05 l 1,47 l/Std.	175,42 l 1,89 l/Std.	455,57 l 2,01 l/Std.
	ber.	358,53 l 1,57 l/Std.	186,57 l 2,01 l/Std.	485,96 l 2,14 l/Std.
Wasser-menge	theoretisch	8,0915 g	4,2363 g	11,0021 g
	gewogen	8,6584 g	4,5058 g	11,7360 g
	Differenz	0,5669 g	0,2695 g	0,7339 g
NaCl-Abscheidg.	theoretisch	3,1259 g	1,6267 g	4,2370 g
	gewogen	2,9069 g	1,3937 g	3,8036 g
	Differenz	0,2190 g	0,2330 g	0,4334 g
	Rest-Ü.S.	0,0192%	0,0204%	0,0379%
Gewichts-zunahme (absolut)	W.K. 6	0,7208 g	0,3469 g	0,9346 g
	W.K. 9	0,7518 g	0,3662 g	0,9624 g
	W.K.10	0,7352 g	0,3467 g	0,9765 g
	W.K.11	0,6991 g	0,3339 g	0,9301 g
Gewichts-zunahme (in mg/mm^2)	W.K. 6	0,425	0,204	0,551
	W.K. 9	0,429	0,209	0,547
	W.K.10	0,428	0,202	0,569
	W.K.11	0,424	0,203	0,565

rate schwankt, betrug 53,2, 48,3 und 50,7 mm Hg. Es sei hier noch auf die letzte Spalte dieser Tabelle besonders verwiesen, aus der hervorgeht, daß bei N 1 und N 2 alle W.K. eine gleichmäßige Zunahme in mg/mm² besitzen. Nur bei N 3 sind Verschiedenheiten zu verzeichnen, die davon herrühren, daß die Vorbehandlung der W.K. nicht dieselbe war. Es wurden nämlich für die Vermessungen im wesentlichen nur die W.K. 9 und 10 benutzt. Außerdem erfolgte bei den W.K. 10 und 11 im Gegensatz zu der im Abschnitt I B 4 besprochenen Weise eine Anlösung in destilliertem Wasser während etwa 10 Sekunden. Ein Vergleich der Tabellen 1 und 2 ergibt, daß die W.K. der Gruppe N, die, wie der Buchstabe N andeuten soll, aus natürlichem Steinsalz hergestellt wurden, fortgeschrittenere Wachstumsstadien aufweisen müssen infolge ihrer erheblich längeren Wachstumsdauer bei ähnlicher, z. T. sogar größerer Luftdurchleitungsgeschwindigkeit, als sie für die Versuchsreihen K 1 und K 2 zur Anwendung gelangt sind.

4. Beschreibung der Reihe Z. Die vorstehenden Versuchsreihen ließen es wünschenswert erscheinen, durch Messungen an W.K. mit größerem Krümmungsradius die Ergebnisse zu ergänzen. Es wurden daher an Platten aus natürlichem Steinsalz durch geeignetes Abschleifen Teilstücke von Zylindermänteln hergestellt. Für die Flächenlagen der [001]-Zone wurden an dem W.K. 36, der in Abb. 1 zu sehen ist, Krümmungsverhältnisse geschaffen, die die Entwicklung von Flächenlagen des Abschnittes von {100} bis {210} gestatteten. An dem W.K. 37 (vergl. Abb. 2) ist die Krümmung so gewählt worden, daß die Möglichkeit zur Ausbildung von Flächenlagen zwischen zwei {210} über {110} bestand. Alle anderen Begrenzungen dieser W.K. sind Würfelflächen, die unmittelbar an die zylindrisch abgeschliffenen Gebiete anstoßen. Es wurde ein Krümmungsradius von 100 mm benutzt. Die W.K. 34 und 35, die in den Abb. 3 und 4 dargestellt sind, erhielten zylindrische Krümmungen, die in einer [011]-Zone lagen. Ersterer umfaßt auf der einen Seite den Winkelbereich von {110} bis {111}, auf der anderen den von {221} bis {211}, während am W.K. 35 ein Zonenabschnitt zwischen Würfel und {311} angeschliffen wurde. Bei diesen beiden W.K. waren zwei Würfelkanten mit der Schneidemaschine entfernt worden, sodaß plattige Gebilde mit sehr großen {110}-Begrenzungen

entstanden; es sind dies die der Bildebene nahezu parallel gestellten Flächen. Der Krümmungsradius betrug in beiden Fällen 80 mm. Die Behandlung dieser W.K. war dieselbe, wie sie die Kugeln der Versuchsreihen K und N erfuhren.

Infolge ihrer Größe war es allerdings nicht möglich, die W.K. 34, 35, 36 und 37 in dem in Abschnitt I A beschriebenen Thermostaten wachsen zu lassen. Diese Versuchsreihe wurde daher mit einem einfacher gebauten ausgeführt. Es wurde dabei auf eine Rückwägung des aus dem W.Gef. entzogenen Wassers verzichtet. Dadurch konnte das Luftleitungssystem ohne Quecksilberverschlüsse verwendet werden und eine Abdichtung des W.Gef. mit Gummi als genügend gelten. Diese Verschlechterungen der eingangs beschriebenen Apparatur konnten in Kauf genommen werden, zumal diese Versuchsreihe im wesentlichen nur zur Orientierung für die Wachstumserscheinungen mit derartigen W.K. dienen sollte.

Die W.G. der W.K. 34, 35, 36 und 37 wurde bei 31,577° ± 0,003° C während 193,1 Stdn. dem Bewachsen ausgesetzt. In dieser Zeit wurden 386,5 l Luft durch das W.Gef. geleitet, was einer Geschwindigkeit von 2,0 l/Std. entspricht und zu einer Gesamtsalzabscheidung von 3,4079 g führte. Die Zunahmen der W.K. betrugen 1,6938 g, 0,7040 g, 0,4258 g und 0,5843 g bei den Ausgangsgewichten von 42,0685 g, 15,8213 g, 26,5971 g und 26,5562 g.

5. Beschreibung einer orientierenden Versuchsreihe. Zur vorläufigen Kennzeichnung der Flächenausbildung polyedrischer W.K. wurde eine W.G. zusammengestellt, bei der W.K. 43 nur von {100}, W.K. 41 von {100} und {111} und W.K. 39 von {100}, {111} und {210} begrenzt wurde. Bei den W.K. 43 und 41 wurden die Spaltflächen des {100} etwas abgeschliffen, damit die beim Spalten gestörten Kanten beseitigt wurden. Die {111} des W.K. 41 wurden mit der Schneidemaschine und nachträglichem Feinschleifen hergestellt. Als Ausgangskörper für W.K. 39 diente ein schon hinreichend weit bewachsener Probekörper, der ebenfalls nochmals bis zur passenden Größe abgeschliffen wurde. Es ist dabei darauf geachtet worden, daß bei allen drei W.K. die Zentraldistanzen für das {100} möglichst gleich erhalten wurden. Sie betrugen ungefähr 12 mm. Diese W.K. erhielten dieselbe Behandlung, wie sie im Abschnitt I A angegeben ist. Auch sie wurden wie die

Versuchsreihe Z in dem vereinfachten Thermostaten dem Wachstum unterworfen. Bei einer Temperatur von 31,585° C heilten die W.K. 39, 41 und 43 zunächst aus. Nach 295 Stdn. Versuchsdauer bei einer Durchleitungsgeschwindigkeit von 1,64 l/Std. wurden sie das erste Mal am Goniometer untersucht mit gleichzeitiger Messung der V.G. Danach wurden sie zur Beseitigung etwa noch vorhandener gestörter Gebiete während weiterer 313 Stdn. bei 2,10 l/Std. wachsen gelassen. Bei beiden Versuchen war als W.K. 37 noch eine Kugel Mitglied dieser W.G. Nach abermaliger eingehender Vermessung erfolgte nun erst die gewertete Wachstumsperiode, bei der mit einer Durchleitungsgeschwindigkeit von 2,15 l/Std. gearbeitet wurde. Die Versuchsdauer betrug 113,1 Stdn., die Temperatur 31,587° ± 0,003° C. Die gesamte NaCl-Abscheidung von 1,9722 g verteilte sich ähnlich wie bei entsprechenden Versuchen von A. Neuhaus (7) in Abhängigkeit von der Kombination. W.K. 39 mit einem Ausgangsgewicht von 16,7498 g nahm 1,2267 g zu. Die entsprechenden Zahlen sind für W.K. 41: 23,2092 g bzw. 0,5720 g und für W.K. 43: 32,3374 g bzw. 0,1733 g.

D. Vermessungsverfahren.

1. Goniometer. Für die Untersuchungen der W.K. stand ein einkreisiges Goniometer der Fa. R. Fueß zur Verfügung. Von der Verwendung anderer Instrumente, die zweikreisige Vermessungen erlaubt hätten, mußte vorläufig abgesehen werden, da diese Goniometer eine Untersuchung derartig großer Kristalle nicht gestatteten. Das benutzte Instrument, das P. Groth (Physikalische Kristallographie, 4. Auflage, S. 649) ausführlich beschreibt, ermöglichte hinreichende Bewegungen mit den Kreuzschlitten, sodaß auch die W.K. mit 25 mm Durchmesser eingestellt werden konnten. Obwohl die W.K. dauernd nachzentriert werden müssen, ist es doch unzweckmäßig, kleinere Versuchsobjekte zu wählen, da dann die Flächenteile besonders in den Z.G. so winzig sind, daß ihre Vermessung nur in den wenigsten Fällen Aussicht auf Erfolg hat. Um die W.K. nicht unnötig zu beschädigen, ist es erforderlich, von einem Aufkitten derselben auf das Goniometertischchen abzusehen. Es wurde dafür ein Messingzylinder, der innen ausgebohrt war, be-

nutzt. Auf seinem Rand lagen dann die W.K. genügend fest, sofern grobe Erschütterungen vermieden wurden. Die großen Flächengebiete der angeschliffenen Zylindersegmente konnten ebenfalls an diesem einkreisigen Goniometer untersucht werden, indem ein zweiter Kreuzschlitten zu Hilfe genommen wurde.

Für die Darstellung der goniometrischen Ergebnisse war es notwendig, eine Bewertung der Intensitäten und sonstigen Besonderheiten der reflektierten W e b s k y - Spaltbilder einzuführen. Es werden fünf Stufen der geschätzten Lichtstärke, I bis V, mit einem in dieser Reihe verlaufenden Abfall derselben unterschieden. Die zusätzliche Angabe b oder bb bedeutet eine starke oder sehr starke Verbreitung des auftretenden Bildes. Das Symbol za soll darauf hinweisen, daß es sich hier um zwei übereinander liegende Reflexe handelt, die im horizontalen Balken des Fadenkreuzes zusammenstoßen. Die ganz gleichartige Bezeichnung zd zeigt an, daß es sich ebenfalls um zwei übereinander liegende Reflexbilder handelt, die aber vom horizontalen Balken des Fadenkreuzes so weit entfernt sind, daß sie zwischen sich ein dunkles Gebiet lassen. Beide Arten von übereinander stehenden Doppelbildern deuten an, daß an jener Stelle Vizinalen anstatt des in der Zone liegenden Flächenstückes auftreten. Hierbei sind natürlich die Winkelneigungen der Vizinalen zu der in der Zone liegenden Fläche bei den Werten za geringer als bei den Werten zd. Ferner wird für Helligkeitserscheinungen, die einem W e b s k y - Spalt nicht mehr ähnlich sind, der Ausdruck Schimmer = S verwendet.

Eine Klammer zwischen mehreren Symbolen soll andeuten, daß die betreffende Erscheinung sich über diesen Winkelbereich hinzieht. Reflexe, die zwar in der eingestellten Zone, jedoch bei den großen Kristallen nicht im Zonengürtel liegen, wurden durch ! gekennzeichnet, um anzudeuten, daß sie nur durch Verschiebung der Höheneinstellung ins Gesichtsfeld gebracht werden konnten. War ein Helligkeitsgebiet nicht durch ein deutliches Spaltbild abgeschlossen, so wurde der Rand vermessen und mit dem Symbol R versehen. Vollkommene Dunkelheit ist durch die Angabe „dunkel" ausgedrückt.

Aus den Winkelablesungen der einzelnen vermessenen Reflexionserscheinungen wurden dann die Abstände innerhalb der un-

tersuchten Zone zum nächstbenachbarten Würfel berechnet. Zu jedem dieser Werte hätte man natürlich Indizes mit beliebig hohen Zahlen angeben können. Hiervon wurde aber selbstverständlich mit Rücksicht auf die keinesfalls reelle Bedeutung derartiger Werte abgesehen. Vielmehr wurde folgende Norm mit ihren willkürlichen Grenzen zugrunde gelegt. Es wurden zunächst einmal nur Flächenlagen berücksichtigt, deren einzelne Indizes nicht über 10 betrugen. Ein Reflex wurde fernerhin als zu einer derartigen Flächenlage gehörend betrachtet, wenn er im höchsten Falle ± 30′ von dem betreffenden theoretischen Winkelabstand abwich. Zur Kennzeichnung der Güte der Übereinstimmung wurde folgende Symbolik verwendet. Für Werte, die vom theoretischen Winkelabstand bis zu ± 10′ verschieden sind, werden die Indizes in der üblichen Weise angegeben. Werte mit Abweichungen zwischen 10′ und 20′ werden durch ~ (hkl), mit Abweichungen zwischen 20′ und 30′ durch $\gtrsim$ (hkl) gekennzeichnet. In seltenen Ausnahmefällen, wenn eine ungefähre Angabe zur besseren Übersicht erforderlich wurde, erfolgte auch eine Berücksichtigung der Werte, die bis ± 45′ vom theoretischen Winkelwert verschieden waren. Sie wurden durch $\gg$(hkl) bzw. $\ll$(hkl) gekennzeichnet.

Da in einigen Lehrbüchern die Indizierungen der Ikositetraeder und der Triakisoktaeder mit allgemeinen Zahlen voneinander abweichen, sei darauf hingewiesen, daß in Anlehnung an die Schreibweise von P. Groth mit den Festsetzungen $h > k$ und $h > l$ gearbeitet wurde. {hkk} sind also Ikositetraeder und {hhl} Triakisoktaeder. Zur klareren Ausdrucksweise bei den Besprechungen der einzelnen Messungsergebnisse wurde auf Veranlassung von K. Spangenberg ferner ein Unterschied zwischen den Zonenindizes [uvw] und [uvw]* gemacht. Erstere meinen nur die spezielle Zone, während mit dem Symbol [uvw]* alle möglichen Zonen dieser Lage gekennzeichnet werden sollen.

2. Photographische Einrichtung. Zur Ergänzung der goniometrischen Ergebnisse wurde von den einzelnen Flächen eine Reihe photographischer Aufnahmen angefertigt, die eine ganz bestimmte Lage reflektierend zeigen. Der W.K. wurde dabei stets auf einem Goniometer aufgebaut, damit die Winkeleinstellung geprüft werden konnte. Als Beleuchtung diente eine Bogenlampe, die

zur Erzeugung möglichst paralleler Lichtstrahlen (Divergenz etwa 30′) mit einem Linsensystem ausgerüstet wurde. Das aufgestrahlte Licht wurde dann von der eingestellten Fläche in den Photoapparat reflektiert. Die drei Bestandteile, Goniometer, Bogenlampe und Photoapparat wurden so zueinander justiert, daß die Flächennormale der untersuchten Kristallfläche sowohl für den Strahlengang Kollimator-Fernrohr als auch für den Bogenlampe-Photoapparat in dieselbe Richtung fiel. Der Winkel zwischen einfallendem und reflektiertem Strahl wurde zur Erhöhung der plastischen Wirkung klein gehalten und betrug etwa 30°. Die Bilder zeigen die Flächen, sofern nicht besondere Angaben gemacht werden, in dreifacher Vergrößerung.

3. Tiefentaster. An allen W.K. wurden für die einzelnen Flächenlagen die Zentraldistanzen vermessen. Hierzu diente ein Meßuhr-Dickenmesser von Schuchardt und Schütte, wie er bei K. Spangenberg (10, S. 194) und A. Neuhaus (7, S. 27) näher beschrieben ist. Das Instrument gestattete 0,01 mm genau abzulesen und 0,001 mm abzuschätzen. Gegenüber Schraubentastern, die häufig bei ähnlichen Messungen verwendet werden, erlaubte es neben schnellerem Arbeiten und größerer Sicherheit des Ablesens ein schonendere Behandlung der W.K. Eine Fläche gelangte nur dann zur Ausmessung, wenn sie auf der Gegenfläche aufgestellt werden konnte.

4. Ausmessung der Flächendurchmesser. Für die Beschreibung der morphologischen Erscheinungen wachsender Kristallflächen schien es von Bedeutung, Zahlenangaben über die absolute Größe der Flächen zu haben. Aus diesem Grunde wurden die Durchmesser derselben zunächst in zwei aufeinander senkrecht stehenden Richtungen bestimmt. Bei schwächster Vergrößerung wurden unter dem Mikroskop die W.K. in die Durchbohrung des Tisches eingesetzt und zum Fadenkreuz orientiert. Da der Objekttisch auf Kreuzschlitten beweglich war, konnten nacheinander die Ränder der Flächengebiete eingestellt werden. Die Teilung an den Köpfen der Triebschrauben gestattete eine Vermessung auf 0,01 mm genau, 0,002 mm ließen sich schätzen. Auf diese Weise gelang es in den wesentlichsten Richtungen die absolute Flächengröße hinreichend zu kennzeichnen.

II. Hauptteil: Versuchsergebnisse

A. Besprechung der goniometrischen und photographischen Ergebnisse der Hauptversuchsreihen K und N.

Alle bisherigen qualitativen Beobachtungen über die Flächenentwicklung an wachsenden Kugeln ergaben, daß in fast allen Fällen Vizinalen ausgebildet worden waren. Dementsprechend zeigt auch die goniometrische Untersuchung, daß keine scharfen und intensiven Signale, wie sie beobachtet werden müßten, wenn wirklich ebene Kristallflächen sich gebildet hätten, auftreten, sondern daß Helligkeitsgebiete zu finden sind, die Bänder einer fortlaufenden Reihe von sehr vielen Reflexen mit nur einigen wenigen hervorgehobenen Signalen darstellen. Eine „Fläche" besteht also aus einem ganzen Vizinalenbereich, aus dem eine Anzahl bevorzugter sich herausheben. Die Untersuchung einer Zone ergibt nun ein gesetzmäßiges Abwechseln von Hell- und Dunkelgebieten, das gestattet, bestimmte Zonenabschnitte zusammenzufassen. Sie sollen nach den im Reflexgebiet liegenden Hauptflächen, d. h. denen mit einfachster Indizierung, die auch gleichzeitig ungefähr dem Mittelwert entsprechen, bezeichnet werden. Es lassen sich folgende Bereiche unterscheiden: {100}-, {510}-, {210}-, {750}-, {911}-, {111}- und {110}-Gebiet.

1. Ergebnisse der Versuchsreihe K 1.

Besprechung der goniometrischen Vermessung in der Zone [001]. Für den ersten der genannten Zonenteile ist unter Berücksichtigung aller Messungen gleicher Art auch an den übrigen W. K. der Versuchsreihe K 1 das unten Ausgeführte als allgemein gültig zu betrachten. Die eigentliche {100}-Lage ist stets durch einen Komplex zweier übereinander liegender Reflexe von Websky-Spalten gekennzeichnet, die durch Dunkelheit getrennt sind und mittlere Intensität besitzen. Nach beiden Seiten folgen mindestens je ein, meist je zwei, bisweilen auch drei Bilder. Im allgemeinen liegen sie symmetrisch zur Mitte. Von diesen ist das äußerste mit dem größten Winkelabstand zur reinen {100}-Lage das lichtschwächste, das innerste stets das lichtstärkste. Wenn auch in Tabelle 3 für die randwärts gelegenen Einzelspaltbilder häufig eine unsymmetrische Lage zum Mittelwert des {100} beobachtet wurde, so ergibt doch der Vergleich aller vermessenen Zonen der W. G. der Reihe K 1, daß der Winkelabstand im Durchschnitt als nahezu symmetrisch bezeichnet werden muß. Die mit einer Abweichung von 1,5° bis 2,5° von der Mittellage auftretenden Reflexe, die die größte Intensität aufweisen, entsprechen den breitesten {hk0}-Vizinalflächen des Würfels, die in einer nachfolgenden Reihe photographischer Aufnahmen gezeigt werden können. Diejenigen von ihnen, die in den [001]*-Zonen liegen, die zur vermessenen senkrecht stehen, stellen die Flächenteile dar, die jene übereinanderstehenden Reflexbilder liefern und somit die Mittellage des {100}-Reflexionsbereiches charakterisieren. Daß die Intensität der letztgenannten Signale geringer erscheint als die der Flächen derselben Form, die in der untersuchten Zone verlaufen, erklärt sich dadurch, daß (hk0) und ($h\bar{k}0$) in der Reflexionsebene liegen, während (h0k) und ($h0\bar{k}$) um einen geringen Betrag herausgedreht sind. Von Interesse ist schließlich noch eine Angabe über die gesamte Winkelbreite, die das {100}-Reflexionsgebiet aufweist. Die Zahlen sind in Tabelle 3 Spalte 3 vermerkt. Im Durchschnitt über alle gemessenen W. K. des vorliegenden Stadiums ergab sich 10,6° ± 1°. Der für die Berechnung der Winkelabstände benutzte Bezugswert entspricht den jeweils durch Messung gefundenen Werten

Tabelle 3.

Goniometrische Vermessung des W.K. 32 aus der Versuchsreihe K 1 in der Zone [001].

Beschreibung des Signals	Einstellung des Signals	Breite des Refl.-Geb.	Winkelabstand	Index
IV	177°49′		5°15′	?
III	175°57′		3°23′	?
I b	175°09′		2°35′	?
III zd	172°34′	10°19′	—	(100)
II	170°43′		1°51′	?
III	168°35′		3°59′	?
V	167°30′		5°04′	?
dunkel				
V	161°18′		11°16′	(510)
dunkel				
V	155°10′		17°24′	?
III	153°23′		19°11′	?
II	146°43′	10°01′	25°51′	?
II	145°09′		27°25′	?
dunkel				
V b	136°42′		35°52′	~(750)
dunkel				
IV b	117°37′		35°04′	<(570)
dunkel				
II	110°17′		27°44′	?
III	108°28′		25°55′	?
V	106°17′	5°27′	23°44′	(490)
V	104°50′		22°17′	>(250)
dunkel				
III	88°38′		6°05′	<(190)
IV zd	82°33′	10°11′	—	(010)
III	78°27′		4°06′	?
dunkel				
S	71°14′		11°19′	$(\bar{1}50)$
dunkel				
IV	60°43′		21°50′	$(\bar{2}50)$
II	57°30′		25°03′	?
III	55°59′	6°32′	26°34′	$(\bar{1}20)$
II	54°42′		27°51′	?
IV	54°11′		28°22′	$(\bar{5}90)$
dunkel				

Fortsetzung zu Tabelle 3.

Beschreibung des Signals	Einstellung des Signals	Breite des Refl.-Geb.	Winkelabstand	Index
IV	46°36′		35°57′	~(5̄70)
dunkel				
IV b	26°35′		34°02′	> (3̄20)
dunkel				
III	19°40′		27°07′	?
III	18°46′		26°13′	~ (2̄10)
IV	15°29′	7°35′	22°56′	~ (7̄30)
IV	13°46′		21°13′	?
V	12°05′		20°32′	(8̄30)
dunkel				
V b	3°16′		10°43′	≪ (5̄10)
dunkel				
V	357°21′		4°48′	?
I b	356°35′		4°02′	?
IV bb zd	352°33′	9°59′	—	(1̄00)
II b	348°34′		3°59′	?
V	347°22′		5°11′	?
dunkel				
V	341°13′		11°20′	(5̄10)
dunkel				
V	334°28′		18°05′	< (3̄10)
dunkel				
V b	333°18′		19°15′	?
II	326°10′	8°26′	26°23′	(2̄10)
I	324°52′		27°51′	?
dunkel				
IV b	317°02′		35°31′	(7̄50)
dunkel				
IV	298°42′		36°46′	(3̄40)
dunkel				
IV	290°16′		28°20′	(5̄90)
II	289°45′		27°49′	?
III	288°38′		26°42′	(1̄20)
III	286°42′	6°47′	24°46′	?
III	286°08′		24°12′	~ (4̄90)
V	284°08′		22°12′	> (2̄50)
V	283°29′		21°33′	~ (2̄50)
dunkel				

Fortsetzung zu Tabelle 3.

Beschreibung des Signals	Einstellung des Signals	Breite des Refl.-Geb.	Winkelabstand	Index
V	274°50′		12°54′	$>(\bar{2}\bar{9}0)$
dunkel				
IV	266°50′		4°54′	?
II	265°44′		3°48′	?
IV b zd	261°56′	10°54′	—	$(0\bar{1}0)$
II	257°29′		4°27′	?
III	255°56′		6°00′	$<(1\bar{9}0)$
dunkel				
V	249°15′		12°41′	$(2\bar{9}0)$
dunkel				
IV	243°30′		18°26′	$(1\bar{3}0)$
IV	238°48′		23°08′	$(3\bar{7}0)$
III b	236°18′	9°40′	25°20′	?
II	234°18′		27°38′	?
IV	233°50′		28°06′	$<(5\bar{9}0)$
dunkel				
IV b	227°19′		34°37′	$<(7.\bar{1}0.0)$
dunkel				
S bb	217°58′		45°24′	$>(1\bar{1}0)$
dunkel				
IV b	208°07′		35°33′	$(7\bar{5}0)$
dunkel				
II	199°56′		27°22′	?
III	198°43′		26°09′	$<(2\bar{1}0)$
IV	196°29′	5°12′	23°55′	$(9\bar{4}0)$
IV	194°44′		22°10′	$>(5\bar{2}0)$
dunkel				
IV	184°32′		11°58′	$\gg(5\bar{1}0)$
dunkel				

der oben beschriebenen Mittellagen. Den am stärksten geneigten Vizinalen lassen sich mithin Indizes von etwa {10.1.0} bis {910} zuschreiben.

Als nächstes gesondertes Reflexionsgebiet schließt sich das {510} mit seinen engsten Nachbarn an. In der Tabelle 3 treten fünfmal {510}-, zweimal {920}-Flächen auf, freilich meist als Intensität V, bisweilen auch nur als Schimmer. An anderen W. K. derselben Versuchsreihe wurde dieses verhältnismäßig regelmäßige Verhalten von {510} oder sein Ersatz durch {920} bestätigt, wenngleich es an einem W.K. nicht in entsprechender Häufigkeit zu beobachten war.

Für die Kennzeichnung des vorliegenden Anfangsstadiums des Wachstums ist das nachfolgende {210}-Gebiet besonders bemerkenswert. Bei dem W.K. 32 in Tabelle 3 hat der ganze hier reflektierende Teil der Zone im Durchschnitt eine Winkelbreite von 7,5° ± 2,5°. Obwohl hier der Wert von {310} oder ihn vertretender engst benachbarter {hk0} meist nicht auftritt, ist dieser Zonenteil bei den anderen vermessenen W.K. der gleichen Versuchsreihe noch im Reflexionsgebiet enthalten. In diesen Fällen beträgt daher auch die Breite des {210}-Bereiches durchschnittlich 11° ± 2°. Im gesamten Helligkeitsgebiet treten innerhalb der oben bestimmten Fehlergrenzen für die Indizierung Einzelsignale des {210} in 50%, des {310} in 70% aller möglichen Fälle auf. Hierbei sind {210}-Reflexe meist nur von mittlerer, die des {310} von geringster Lichtstärke. Wenn {310} nicht mit einem eigenen Reflex vertreten ist, so beobachtet man an seiner Stelle im allgemeinen {520} oder {830}.

Im übrigen können in dem besprochenen Hellgebiet noch eine ganze Reihe weiterer Einzelsignale unterschieden werden. Im Rahmen der früher getroffenen Einschränkungen lassen sich für diese ebenso oft bestimmte Indizes angeben, wie dies nicht möglich ist. Dabei kann augenscheinlich eine Bevorzugung der Werte {950}, {940}, {730} und {740} mit in dieser Folge absteigendem Maße festgestellt werden. Während die Breite des reflektierenden Gebietes nach der einen Seite meist nicht über das {310} hinausreicht, ist nach der anderen die Grenze durch die Lage von {740} im allgemeinen gegeben.

Bemerkenswert ist besonders die Gesetzmäßigkeit, daß das Signal des {210} oder die ihm zukommende Winkellage beiderseits von je einem lichtstarken Reflex begleitet wird, die fast stets die höchsten im gesamten Bereich beobachteten Intensitäten besitzen. Diese Reflexe liegen gegenüber dem theoretischen Winkelabstand (100) : (210) von 26°34′ bei durchschnittlich 25,5° und 27,5°. Sie entsprechen damit Vizinalen des {210} mit so hohen Indizes, daß sie nach der gewählten Beschränkung in der Tabelle 3 nicht mit Zahlenwerten eingetragen werden konnten. Weiterhin muß die stets auftretende Tatsache betont werden, daß innerhalb der angegebenen Gesamtbreite des Reflexionsgebietes der reine {210}-Wert einseitig liegt und zwar näher nach dem {740}-Rand zu. Der mittlere Abstand von diesem beträgt bei dem W.K. 32 im Durchschnitt 1,3°, für die anderen W.K. derselben Versuchsreihe ergeben sich Werte bis zu 2,5°. Aus dieser Feststellung folgt, daß das {210}-Gebiet nach der Seite des {110} hin sehr rasch abbricht, während es zum Würfel hin viel weiter ausgedehnt ist und, wie oben erwähnt, {310} noch mit einschließt.

Endlich tritt noch mit Regelmäßigkeit in dem Zonenstück zwischen {210} und {110} ein allerdings recht schwacher und häufig verwaschener Reflex auf, der aber durch Dunkelgebiete einwandfrei begrenzt und gut zu vermessen ist. Bei W.K. 32 gehört er in fünf von acht Fällen zum {750}. Er kann jedoch hier wie auch bei den anderen W.K. der Reihe K 1 durch {10.7.0} ersetzt werden. Im Hinblick auf das {320}, das in diesem Zonenabschnitt als einfachste Flächenlage zu erwarten ist, fällt auf, daß dieses nur sehr selten zu beobachten war.

Ein einziges Mal erscheint in Tabelle 3 ein Anzeichen für ein {110}. Auch bei den anderen W.K. der gleichen Versuchsreihe kommt dieses nur ganz vereinzelt und dann stets als unscharfer breiter Schimmer vor.

Besprechung der photographischen Aufnahmen der [001]*-Zone. Im Anschluß an diese Beschreibung der Wachstumserscheinungen, die aus der Tabelle 3 für W.K. 32 sowie an allen anderen W.K. der gleichen Versuchsreihe für die [001]*-Zone abgelesen werden können, werden einige Abbildungen erläutert, die in der bei Abschnitt I D 2 beschriebenen Weise vom

Wachstumskörper 32 aufgenommen worden sind. (Ein Gesamtbild der W.K. der Reihen K gleicht der Fig. 2 bei A. Neuhaus (7)). Die Abb. 5 zeigt ein Gebiet um einen Würfelpol, das am besten reflektiert, wenn man den zentralen Teil ein wenig aus der wahren {100}-Stellung herausdreht. Man sieht hier noch nicht die Diagonalteilung in {hk0}-Vizinalgebiete, wie sie in Abb. 6 sehr anschaulich hervortritt, wo der Reflexionsbereich der im Bilde linken Vizinalpyramiden im wesentlichsten umfaßt wird. Zwischen Aufnahme 5 und 6 ist die Kugel um etwa 3° weiter gedreht worden. In beiden Aufnahmen, insbesondere aber in Bild 5, heben sich sehr charakteristische Streifungen parallel [001]*-Kanten hervor. Auch diese Treppenstufen gehören zu der reflektierend aufgenommenen [001]*-Zone und sind im besprochenen Gebiet enthalten. Dies sieht man aus Abb. 7 sehr deutlich, in der die gleiche Würfelfläche an ihren äußeren Vizinalpyramiden, in Reflexionsstellung befindlich, aufgenommen worden ist. Im letztgenannten Bilde handelt es sich um den Bereich, der oben zusammenfassend unter {510}-Reflexionen besprochen wurde. Bemerkenswert ist ferner, daß bei Bild 5 und 6 in dem rauhen durch Subindividuen bedeckten Z.G. der Kugel kaum Ebenen zu beobachten sind, die gleichzeitig mit einspiegeln. Dagegen ist bei der Abb. 7 eine Reflexion von Subindividuenteilen nördlich und südlich des Äquators der eingestellten Zone deutlich zu erkennen.

Der Zonenbereich, der mit dem {210} einen zusammenhängenden Lichtzug lieferte, sei durch die beiden folgenden Aufnahmen erläutert. Im Anschluß an Abb. 7 erhält man nach weiterer Drehung um etwa 12° in Abb. 8 den Teil eines {210}-Gebietes, der der Flächenlage {730} zugeordnet werden kann. Er liegt somit näher am Würfel als {210} selbst. Nur wenige kleine Flächen aus dem Z.G. spiegeln mit diesem Teil der [001]*-Zone ein. Der Abfall der Lichtintensität nach rechts wie links im Bilde zeigt recht anschaulich, daß es sich um ein Zonenstück handelt, das noch erheblich gerundet ist. Es tritt auch keine Streifung, d. h. Treppenstufen, parallel einer [001]*-Richtung hervor. Wird der W.K. etwa 3° weitergedreht, so erhält man die in Abb. 9 wiedergegebene Aufnahme des ziemlich genau {210} entsprechenden Teiles des hier behandelten Reflexionsgebietes. Der langsame Intensitätsabfall nach

rechts, in Richtung auf den Würfel, läßt ebenfalls die Rundung erkennen, während der bei der Besprechung der goniometrisch vermeßbaren Erscheinungen betonte plötzliche Abbruch dieses Zonenstückes nach {110} hin im linken Teil des Bildes sichtbar wird. Hier treten die auch in den weiteren Aufnahmen für das {110}-Gebiet außerordentlich charakteristischen häufigen Treppenstufen mit der daraus folgenden Streifung parallel [001]* als Begrenzung an das {210}-Gebiet heran. Mitreflektierende Subindividuen lassen sich nur äußerst selten beobachten.

Im unmittelbaren Anschluß an Abb. 9 folgt der nach etwa 7° Drehung aufgenommene Teil der Zone. Man sieht hier in Bild 10 das ungefähr {320} entsprechende Gebiet, das erkennen läßt, daß innerhalb des rauh gestreiften {110}-Bereiches kleine parallel [001]* gestreckte Flächenelemente vorhanden sind, die in dieser Stellung reflektieren. Erst nach weiterer Drehung um etwa 2° gelangt aber, wie Bild 11 zeigt, der rechte Hauptteil des gestreiften {110}-Gebietes zur Reflexion. Die hier einspiegelnd aufgenommenen Oberseiten der Treppenstufen können der Lage {750} zugeordnet werden, was in der Besprechung der Ergebnisse der Tabelle 3 bereits hervorgehoben worden ist. Man sieht, wie diese Flächenstücke sich aus dem Äquator der [001]*-Zone heraus in mit der Entfernung abnehmender Zahl und Breite noch ein Stück in das sich nördlich und südlich anschließende Z.G. hinein verfolgen lassen. Da, wie aus Tabelle 3 ersichtlich ist, {110} keine Reflexion ergeben würde, ist mit der Betrachtung der genannten Bildreihe der charakteristische, bei weiterer Drehung sich wiederholende, 45°-Sektor der [001]*-Zone gekennzeichnet.

Besprechung der goniometrischen Vermessung in der Zone [0$\bar{1}$1]. Für die [0$\bar{1}$1]-Zone sind die Einzelwerte, die am Reflexionsgoniometer in den Helligkeitsbereichen ablesbar waren, in Tabelle 4 wiedergegeben. Die Messungen wurden ebenfalls am W.K. 32 vorgenommen. Auch hier lassen sich Zonenabschnitte zu Reflexionsgebieten zusammenfassen, die zum Teil durch sehr ausgedehnte Dunkelstellen von ungefähr 30° Winkelbreite gegeneinander abgegrenzt sind. Als Hauptgebiete sind {100} und {111} zu kennzeichnen, zwischen denen mit Regelmäßigkeit lichtschwache Reflexionen zu beobachten sind, die an-

Tabelle 4.

Goniometrische Vermessung des W.K. 32 aus der Versuchsreihe K 1 in der Zone [0 $\bar{1}$ 1].

Beschreibung des Signals	Einstellung des Signals	Breite des Refl.-Geb.	Winkelabstand	Index
IV	34°28′		6°02′	?
II bza	20°29′		2°03′	?
berechnet	18°26′	9°47′	—	($\bar{1}$00)
I bza	16°30′		1°56′	?
III	14°41′		3°45′	?
dunkel				
V b	8°53′		9°33′	< ($\bar{8}$1$\bar{1}$)
dunkel				
S	339°14′		39°12′	~($\bar{7}$44)
dunkel				
V za	326°10′		52°16′	> (10.$\bar{9}$.9)
III	323°25′	5°27′	55°01′	~ (1$\bar{1}$1)
V	320°43′		57°43′	~($\bar{9}$.10.$\bar{1}$0)
dunkel				
V bb	288°50′		90°43′	?
dunkel				
III bb	252°52′		54°46′	(11$\bar{1}$)
dunkel				
V b	206°08′		8°01′	(10.$\bar{1}$.1)
dunkel				
III	202°26′		4°19′	?
I za	200°10′		2°03′	?
berechnet	198°07′	10°05′	—	(100)
I za	195°11′		2°56′	?
IV	192°21′		5°46′	?
dunkel				
S	189°06′		9°01′	(911)
dunkel				
V R	149°38′		48°29′	(544)
R } III bb	145°09′	7°49′	52°58′	?
R } III bb	141°49′		56°18′	?
dunkel				
S b	108°10′		89°57′ / 89°43′	~(011)
dunkel				
III b	72°07′		53°40′	?
dunkel				
V	31°24′		12°57′	~(611
dunkel				

nähernd einem {811} entsprechen. Schließlich tritt an Stelle des {110} verwaschene Reflexion geringer Intensität auf.

Der Würfelbereich weist auch in dieser Zone eine durchschnittliche Winkelbreite von 10° ± 0,5° auf. Er besteht meist aus vier beobachteten Reflexbildern, von denen kein Signal der mittleren wahren {100}-Lage entspricht. Dieser folgen nach beiden Seiten ziemlich symmetrisch die intensivsten Einzelbilder des Gebietes. Diese treten bemerkenswerterweise in zwei übereinander liegenden, unmittelbar aneinander stoßenden Reflexen auf. Dies weist darauf hin, daß sie zwar sehr nahe einem {hkk} entsprechen aber, da sie um einen gewissen, wenn auch geringen Winkelbetrag außerhalb der Zone liegen, {hkl}-Flächen darstellen. In größtem Winkelabstand zum Würfelmittelwert folgen auf diese Vizinalen nach außen Reflexe mit mittlerer bis geringer Intensität. Sie lassen sich {hkk}-Werten zuordnen, jedoch mit so hohen würfelnahen Indizes, daß sie gemäß der getroffenen Beschränkung nicht in die Tabelle eingetragen wurden.

Zwischen dem Würfel und dem nächsten wichtigen {111}-Gebiet findet man einen Einzelreflex in dieser Zone, der durch Dunkelheit nach beiden Seiten deutlich abgegrenzt wird. Er tritt regelmäßig und mit geringster Intensität auf. Die Indizes, die sich ihm zuordnen lassen, liegen zwischen {10. 1. 1.} und {611}, wobei der Schwankungsbereich in den meisten Fällen, wie die Ergebnisse an den anderen W.K. derselben Versuchsreihe zeigen, auf {911} und {711} eingeengt werden kann.

Im Oktaedergebiet zeigt sowohl der W.K. 32 wie die gesamte W.G. von K 1 recht weitgehende Abweichungen der einzelnen hierher gehörigen Zonenstücke untereinander. Bisweilen tritt nur ein sehr breites Einzelsignal auf, das bei mittlerer Intensität sich im äußersten beobachteten Fall über 3,5° erstreckte. In anderen Fällen sind drei bis vier einzelne Reflexe in einem Winkelbereich, der von 3,5° bis 9,5° schwankt, vorhanden. In etwa 70% aller Möglichkeiten war ein Signal vermeßbar, das {111} direkt zugeordnet werden konnte. Es besitzt nur mittlere Intensität und ist doch das lichtstärkste in dieser Spaltbilderfolge. Die auftretenden Vizinalwerte weichen besonders nach dem Würfel hin erheblich von der Mittellage des {111} ab. {977} und {544} waren zu beobachten.

Nach dem Rhombendodekaeder zu liegt der Rand des Reflexionsgebietes weniger weit vom {111} entfernt. Die Gesamtheit aller Beobachtungen zeigt für diesen Zonenabschnitt, daß die auftretenden Flächenstücke in ihrer Entwicklung beträchtlich im Rückstand sind im Vergleich zu {100} und {210}.

Klare und deutliche Reflexe des Rhombendodekaeders treten auch in dieser Zone nicht auf. In dem entsprechenden Winkelbereich findet man zwar Schimmer und sehr breite — ungefähr 1,5° bis 2,5° — „Bilder", die äußerst lichtschwach sind. Die beobachtete Winkellage entspricht jedoch sehr schlecht dem theoretisch geforderten Wert bei einer Abweichung von ± 1°. In einigen wenigen Fällen fanden sich einzelne Reflexbilder, die zwischen {332} und {221} lagen. Sie besitzen die Intensität V und lassen sich recht genau vermessen, obwohl ihnen keine Indizes im Rahmen der Begrenzung auf Zahlenwerte bis 10 zugeordnet werden konnten.

Besprechung der photographischen Aufnahmen in der [0$\bar{1}$1]*-Zone. Zur Erläuterung der goniometrisch beobachteten Erscheinungen dienen die nachfolgend besprochenen Bilder 12 bis 15, die einzelne Flächenteile reflektierend zeigen und in der auf Seite 27 beschriebenen Weise aufgenommen wurden. Abb. 12 stellt ein Würfelgebiet dar, das sehr deutlich erkennen läßt, wie an die Stelle einer {100}-Ebene ein fast kegelförmiges Vizinalengebilde getreten ist. Der im Bild gezeigte reflektierende Teil desselben liegt in einer [0$\bar{1}$1]*-Zone und ist ziemlich scharf gegenüber den nicht in Hellstellung befindlichen Vizinalpyramiden der [001]*-Zone abgegrenzt. Die Aufnahme entspricht einer Drehung von 2,5° bis 3° aus der Mittellage des Würfels.

Das Bild 13 wird erhalten, wenn der W.K. ungefähr 7° weiter gedreht wird, also eine Einstellung vorgenommen wird, die einem {811} entspricht. Es zeigt sich eine Vielheit von kleinen Flächenstücken reflektierend, die sämtlich den Subindividuen angehören, die in der [0$\bar{1}$1]*-Zone oder unmittelbar benachbart von dieser aufgewachsen sind. Die in Abb. 13 dargestellten aufleuchtenden Subindividuen besitzen demnach auch Begrenzungselemente, die der besprochenen Zone angehören.

Das Bild 14 entspricht der Aufnahme eines Oktaedergebietes und zwar der Mittellage des {111} selbst. Dieser Bereich liefert gemäß der Besprechung der goniometrischen Vermessungen von Tabelle 4 die größte Intensität innerhalb des Reflexionsgebietes. Man sieht, daß von einem zusammenhängenden Flächenstück nicht einmal im zentralen Teil gesprochen werden kann. Überall zeigen sich besonders außerhalb der Flächenmitte ganz deutlich Teilstücke von Subindividuen. Nach der Mitte zu verfließen diese mehr und mehr zu einer matt glänzenden Oberfläche. Dabei erscheint das Gesamtgebiet trotz aller Verrundung von dreizähliger Symmetrie.

Ein aufleuchtendes {110}-Gebiet zeigt Bild 15. Die schon in Abb. 10 deutlich ersichtliche Streifung parallel [001]* tritt auch hier besonders nach den anschließenden {210}-Bereichen hin in Erscheinung. Es mag zunächst verwunderlich sein, daß bei der Breite dieses Zonenstückes nur schlechte und verwaschene, sehr wenig intensive Reflexe am Goniometer beobachtet werden konnten. Die Erklärung hierfür ist darin zu suchen, daß die {110}-„Fläche" eben nicht ein Flächenstück ist, das der [0$\bar{1}$1]*-Zone angehört. Sie stellt vielmehr ein Gebiet dar, das als ein durch Vizinalflächen, die eine gemäß Tabelle 3 ungefähr dem {750} entsprechende Winkellage besitzen, aufgebautes und durch deren Wiederholung „vizinalgestreiftes" Zonengebiet beschrieben werden muß. Damit sei die Beschreibung der Versuchsreihe K 1 abgeschlossen.

2. Ergebnisse der Versuchsreihe K 2.

Besprechung der goniometrischen Vermessung in der Zone [001]. Die W.G., der der bisher benutzte W.K. 32 angehört, wurde nun einem zweiten Bewuchs unterworfen, dessen Einzeldaten aus der Tabelle 1 zu entnehmen sind. Bei der folgenden Beschreibung dieser Versuchsreihe K 2 wird derselbe W.K. 32, für den die Angaben der Tabellen 3 und 4 gemacht sind, zu Grunde gelegt. In Tabelle 5 werden zunächst die Ergebnisse der goniometrischen Vermessung zusammengestellt, die in der [001]-Zone vorgenommen wurde. Auch nach der zweiten Bewachsung lassen sich die gleichen Reflexionsgebiete, die durch Dunkelstellen getrennt werden, unterscheiden, wie sie bei der Besprechung der Tabelle 3 hervorgetreten sind.

Tabelle 5.

Goniometrische Vermessung des W.K. 32 aus der Versuchsreihe K 2 in der Zone [001].

Beschreibung des Signals	Einstellung des Signals	Breite des Refl.-Geb.	Winkelabstand	Index
IV	98°55′		3°50′	?
I b	96°25′		1°20′	?
IV b zd	95°05′	9°00′	—	(100)
I b	92°30′		2°35′	?
IV	89°55′		5°10′	?
dunkel				
V	84°00′		11°05′	~(510)
dunkel				
V	72°20′		22°45′	< (730)
II b za	69°25′	6°25′	25°40′	?
II b za	67°25′		27°40′	?
R	65°55′		29°10′	?
dunkel				
IV b	60°50′		34°15′	≫ (320)
dunkel				
S bb	50°05′		45°00′ / 45°05′	(110)
dunkel				
IV b	38°25′		33°25′	~(230)
dunkel				
R	34°45′		29°45′	(470)
I b za	32°50′	6°30′	27°50′	?
II za	30°40′		25°40′	?
IV	28°15′		23°15′	(370)
dunkel				
V	23°35′		18°35′	(130)
dunkel				
S bb	14°50′		9°50′	> (160)
dunkel				
III	9°45′		4°45′	?
I b	7°35′		2°35′	?
IV b zd	5°00′	8°30′	—	(010)
II b	2°45′		2°15′	?
IV	1°15′		3°45′	?
dunkel				
V b	348°25′		16°35′	(3̄.10.0)
IV	344°40′		20°20′	(3̄80)
IV	341°15′		23°45′	~(4̄90)
III za	340°05′	12°20′	24°55′	?
I b za	337°20′		27°40′	?
R	336°05′		28°55′	> (5̄90)
dunkel				

Fortsetzung zu Tabelle 5.

Beschreibung des Signals	Einstellung des Signals	Breite des Refl.-Geb.	Winkelabstand	Index
IV b dunkel	329°25′		35°35′	(5̄70)
S bb dunkel	320°10′		44°50′ 45°05′	(1̄10)
IV dunkel	308°30′		33°25′	~(3̄20)
R	305°05′		30°00′	~(7̄40)
I b za	302°30′		27°25′	?
II b za	300°15′	9°45′	25°10′	?
IV	298°20′		23°15′	(7̄30)
IV dunkel	295°20′		20°15′	~(8̄30)
V R	283°50′		8°45′	≫(7̄10)
IV	280°30′		5°25′	?
I b	276°55′		1°50′	?
IV b zd	275°05′	14°45′	—	(100)
II b	272°30′		2°35′	?
IV	270°50′		4°15′	?
V dunkel	269°05′		6°00′	>(9̄10)
IV	256°10′		18°55′	>(3̄10)
III	251°55′		23°10′	(7̄30)
III za	250°10′		24°55′	?
II	249°20′	9°40′	26°45′	(2̄10)
I b za	247°20′		27°45′	?
R dunkel	246°30′		28°35′	(9̄50)
IV b dunkel	239°05′		36°00′	>(7̄50)
S bb dunkel	230°25′		44°40′ 45°20′	(1̄10)
IV b dunkel	219°10′		34°05′	>(2̄30)
R	214°40′		29°35′	(4̄70)
IV	213°25′		28°20′	(5̄90)
I b za	212°30′		27°25′	?
I b za	210°35′	9°35′	25°30′	?
III	208°50′		23°45′	~(4̄90)
III	206°25′		21°20′	<(2̄50)
V dunkel	205°05′		20°00′	≪(3̄80)

Fortsetzung zu Tabelle 5.

Beschreibung des Signals	Einstellung des Signals	Breite des Refl.-Geb.	Winkelabstand	Index
S b	195°00′		9°55′	$>(\bar{1}60)$
dunkel				
IV	191°15′		6°10′	$\sim(\bar{1}90)$
I b	188°40′		3°35′	?
III zd	185°05′	11°45′	—	$(0\bar{1}0)$
I b	181°50′		3°15′	?
V	179°30′		5°35′	$(1.\bar{1}0.0)$
dunkel				
V	175°00′		10°05′	$\gg(\bar{1}60)$
dunkel				
V	166°25′		18°40′	$\sim(\bar{1}30)$
dunkel				
V	162°25′		22°40′	$\ll(3\bar{7}0)$
II za	159°30′		25°35′	?
I b za	157°20′	6°50′	27°45′	?
R	155°35′		29°30′	$\sim(4\bar{7}0)$
dunkel				
IV b	150°40′		34°25′	$\gg(2\bar{3}0)$
dunkel				
R	141°05′		44°00′	
R S	139°20′	1°45′	44°35′	$(1\bar{1}0)$
dunkel				
IV	129°45′		35°00′	$(10.\bar{7}.0)$
dunkel				
R	124°25′		29°40′	$(7\bar{4}0)$
I b za	122°30′		27°45′	?
II b za	120°40′		25°55′	?
IV	117°50′	10°35′	23°05′	$(7\bar{3}0)$
IV	116°35′		21°50′	$(5\bar{2}0)$
IV	113°50′		19°05′	$\gg(3\bar{1}0)$
dunkel				

Für das Würfelgebiet gelten im allgemeinen die gleichen Beobachtungen, die auf Seite 30 für die Versuchsreihe K 1 geschildert wurden. Wieder finden sich als Mittellage und Bezugswert zwei Reflexbilder, die übereinander liegen und durch einen Dunkelbereich getrennt werden. Sie gehören zu den {hk0}-Vizinalen, die auch bei K 2 mit den Werten der höchsten beobachteten Intensität in der [001]*-Zone auftreten. Von der wahren {100}-Lage besitzen diese einen Winkelabstand von 2° bis 3,5°. Diesen Hauptvizinalen schließt sich nach außen im Helligkeitsbereich meist je ein Einzelbild an, das nur mit geringerer Intensität des reflektierenden Signales beobachtbar ist. Die Winkelabstände dieser Reflexe liegen verhältnismäßig wenig symmetrisch zum Würfel. Für die gesamte Breite des {100}-Reflexionsbereiches ergibt sich, wenn alle vermessenen W.K. berücksichtigt werden, ein Durchschnittswert von 10,0° ± 1°. Man kann daher nicht sagen, daß sich die auftretenden Winkellagen gegenüber denen von K 1 aus Tabelle 3 wesentlich oder überhaupt geändert haben.

Im Anschluß an das {100} traten bei der Tabelle 3 deutlich isolierte {510}-Gebiete auf. Diese fehlen am W.K. 32 in Versuchsreihe K 2 in 50% aller möglichen Fälle. An den anderen W.K. derselben W.G. sind sie noch seltener vorhanden. Ein Ersetzen des {510} durch {610} ließ sich relativ häufig feststellen. Im allgemeinen tritt das {510}-Gebiet gegenüber dem oben besprochenen Stadium K 1 zurück.

In dem besonders charakteristischen {210}-Gebiet ist gegenüber K 1 hier noch ein Randwert vermessen worden. Die durchschnittliche Gesamtbreite des Helligkeitsbereiches ergibt sich bei W.K. 32 zu 9,0° ± 2,5°. Sie hängt wesentlich davon ab, ob {310} mit im Reflexionsgebiet auftritt oder nicht. Für W.K. 32 ist dies nur dreimal der Fall, dreimal fehlt {310} vollkommen. In zwei der acht Möglichkeiten ist es am W.K. 32 vorhanden, aber vom {210}-Gebiet durch Dunkelheit abgesondert. An anderen W.K. von K 2 gehört {310} ziemlich regelmäßig zum behandelten Reflexionsbereich dazu. Die durchschnittliche Gesamtbreite wird dadurch ähnlich wie bei K 1 zu 11,3° ± 2° erhalten. Eine wesentliche Änderung gegenüber dem ersten Anfangsstadium ist also hierin nicht zu erblicken.

Es treten noch eine ganze Reihe weiterer Einzelbilder in diesem Reflexzuge auf. Bei den meisten von ihnen läßt sich innerhalb der gewählten Fehlergrenzen eine Indizierung angeben. Danach waren bei W.K. 32 die bevorzugtesten Werte {740} und {730}, die je einen Winkelabstand von rund 3° vom theoretischen {210}-Wert besitzen. Bei anderen W.K. derselben Versuchsreihe waren die häufigst auftretenden die dem {210}-Idealwert näher liegenden {950} und {940}, deren Winkelabstand nur rund 2° bzw. 2,5° beträgt. Soweit das {310} zum Reflexionsgebiet gehört, ist es in weniger als der Hälfte aller möglichen Fälle durch einen eigenen Reflex beobachtbar. Dieser hat nur geringste Intensität. Häufig wird es durch {10. 3. 0} und in Richtung auf das {210} hin durch {830} bis {520} vertreten. Es entsteht der Eindruck, als ob um die Schwerpunktslage {310} herum größere Flächenstücke sich entwikkeln, ohne daß diese aber mit ähnlicher Genauigkeit der einfachen Lage {310} sprechen, wie dies für die Vizinalen zum {210} der Fall ist.

Für das der {210}-Lage genau zukommende Gebiet stellen sich bei W.K. 32 regelmäßig zwei Spaltbilder ein, die in sehr charakteristischer Weise durch ein Reflexionsband mit relativ hoher Intensität miteinander verbunden sind. Die beiden beobachtbaren Reflexe, die an den Enden dieses fortlaufenden, im Mittelraum entsprechend dem Symbol za teilweise dunklen Lichtzuges liegen, haben in der Regel die höchste im gesamten Bereich auftretende Lichtstärke. Sie bestehen deutlich aus zwei aneinander stoßenden, unmittelbar übereinander befindlichen Spaltbildern. Ihr Abstand zum theoretischen {210}-Wert beträgt durchschnittlich 1°. Bei W.K. 32 liegt zwischen ihnen nur in einem einzigen Falle ein dem {210} selbst entsprechender Reflex. An anderen W.K. läßt sich dieser häufiger beobachten. Hierbei ist dann das auftretende {210}-Spaltbild stets von geringerer Intensität als die beiden randlichen Vizinalwerte.

Da die Reflexionserscheinungen der letzteren mit dem Symbol za gekennzeichnet werden mußten, ist daraus zu ersehen, daß es sich nicht um eigentliche {hk0}-Vizinalen handelt. Vielmehr folgt hieraus, daß sie {hkl}-Flächen darstellen, die vom Zonenäquator einen bestimmten Winkelabstand haben. Sie liegen in Zonen, die

zur besprochenen senkrecht stehen. Gemäß diesem goniometrischen Befund ist auch das {210} durch eine Vizinalpyramide ersetzt, die aus vier {hkl}-Flächen besteht, von denen natürlich je zwei symmetrisch zur {001}-Ebene liegen. Hinsichtlich der einseitigen Lage der {210}-Vizinalen innerhalb des ganzen Reflexionsgebietes läßt sich in diesem Wachstumsstadium dasselbe beobachten, wie es bei Tabelle 3 besprochen wurde.

In dem Raum zwischen {210} und {110} treten ebenfalls bei der Versuchsreihe K 2 getrennte einzelne Reflexbilder auf, die die Intensität IV bis V besitzen. Sie entsprechen bei W.K. 32 meist annähernd der {320}-Lage. Bei anderen W.K. von der benutzten W.G. ist {750} gegenüber {320} häufiger zu beobachten.

Für den anschließenden Rhombendodekaederbereich ist wieder einwandfrei festzustellen, daß eine eigentliche Reflexion von {110}-Flächen nicht gefunden werden konnte. In allen vier Fällen innerhalb der behandelten Zone tritt nur ein sehr breiter (bis zu 2°) Schimmer auf, der mit mäßiger Genauigkeit dem theoretisch geforderten Wert entspricht.

Besprechung der photographischen Aufnahmen der [001]*-Zone. Die vorstehend beschriebenen morphologischen Erscheinungen einer Würfelzone im Wachstumsstadium K 2 seien an der folgenden Aufnahmenreihe erläutert und vervollständigt. Die vier Abb. 16, 17, 18 und 19 zeigen das {100}-Reflexionsgebiet, wobei die erste etwa dem zentralen Wert entspricht. Im zweiten ist eine der Hauptvizinalen dargestellt, zu der etwa {28. 1. 0} als Index gehört. In Abb. 18 spiegelt {15. 1. 0} ein, in Abb. 19 der durchschnittliche Randreflex {10. 1. 0}. Bei einem Vergleich der vier Aufnahmen fällt auf, daß von den Vizinalpyramiden die in Bild 17 die größte Ausdehnung und höchste Intensität besitzt. Allen Aufnahmen gemeinsam ist das Fehlen einer deutlichen Streifung nach [001]*, wie sie in den früher besprochenen Abb. 5 und 6 der Reihe K 1 so klar zu erkennen war. Dies entspricht einer Einebnung von im früheren Stadium vorhandenen Treppenstufen. Gröbere Unebenheiten ragen nur noch am Rand nach dem Z.G. zu in die Vizinalpyramiden hinein. In dem Nordwestbereich derselben ist der gradlinig begrenzte Teil durch eine Störung hervorgerufen. Die normale Entwicklung ist im beleuchteten Südwest-

sowie im weniger hellen Nordost-Quadranten des Gebietes erkenntlich. Subindividuen des Z.G., die von Flächenstücken des Würfelbereiches begrenzt werden, sind besonders im linken unteren Teil der Bilder 16 und 17 deutlich zu beobachten.

Dem anschließenden Zonenabschnitt, der als {510}-Gebiet bezeichnet wurde, entspricht Abb. 20. Man sieht anschaulich, daß das reflektierende Gebiet von den Vizinalpyramiden des Würfels getrennt ist. Andeutungsweise tritt auch innerhalb des {100}-Bereiches die diagonale Aufteilung desselben noch heraus. Zu dem reflektierenden {510}-Gebiet gehören erhebliche Teile von Begrenzungselementen der im Z.G. liegenden Subindividuen. Im Vergleich mit Abb. 7 ist auch hier das Verschwinden der dort noch erkennbaren Streifung nach [001]* bemerkenswert.

Die Bilderreihe 21 bis 26 zeigt alle Teilreflexionen des {210}-Gebietes. Den Anfang bildet {310} ganz am würfelnahen Rand, dem über etwa {830} in Bild 22 {520} in Bild 23 und {730} in Bild 24 folgen. Die zum gesamten Flächenstück deutlich nach der Seite des {110} verschobene {210}-Reflexion ist in Abb. 25 zu sehen. Die Art der Aufnahme ermöglicht nicht, die Krümmung des Bildes in der [$\bar{1}$20]*-Zone sichtbar zu machen. Man sieht aber deutlich, daß es sich um das breiteste und am stärksten reflektierende Stück des ganzen {210}-Gebietes handelt. Ihm folgt in Bild 26 ein letzter einspiegelnder Teil, der etwa der Lage {740} entspricht. Mitreflektierende Begrenzungsstücke von Subindividuen sind in allen Aufnahmen dieses Bereiches nördlich und südlich des Äquators erkennbar. Ihre Zahl und Breite ist besonders in Bild 26 erheblich.

Bereits in dem eben genannten Bild tritt die im anschließenden {750}-Bereich noch vorhandene Streifung nach [001]* hervor. Sie wird in Abb. 27 noch deutlicher erkennbar. Diese Aufnahme entspricht der Reflexionslage nach etwa {320}. Ihm folgt in Abb. 28 das {750}, wo bereits beträchtliche Teile von mitaufleuchtenden Begrenzungselementen der außerhalb des Zonengürtels gelegenen Subindividuen zuzurechnen sind. Bild 29 stellt schließlich der Lage {540} entsprechend die letzte Reflexion vor dem {110} dar. Dieses selbst weist keine Reflexion auf, wie aus den goniometrischen Messungen schon ersichtlich war. Die nächste Stellung, in der wieder

eine Flächenlage einspiegelt, ist die zum {110} symmetrisch gelegene der Form {540}, wie bereits auf Seite 35 bei den Vizinalen des {110} besprochen wurde. Es verdient darauf hingewiesen zu werden, daß die Streifung um den Pol des {110} in den Aufnahmen 27, 28 und 29 durch die seitliche Beleuchtung recht gut hervortritt.

Besprechung der goniometrischen Vermessung in Zone [0$\bar{1}$1]. Die Gliederung dieser Zone in {100}-, {811}-, {111}- und {110}-Gebiet, die bereits bei der Besprechung der Reihe K 1 hervortrat, findet sich im Stadium K 2 wieder. Gegenüber dem ersten Versuch weist der Würfelbereich eine geringere Winkelbreite von nur 7,2° ± 0,5° auf. Diese ist anscheinend dem Vordringen der steileren {hk0}-Vizinalen in die Gegend der {hkk} mit etwas größerer Abweichung vom {100} zu verdanken. Ein der Würfellage selbst entsprechender Reflex tritt hierin niemals auf. Die Hauptreflexionen mit der höchsten Intensität sind vielmehr zwei Doppelsignale, die mit dem Symbol za gekennzeichnet werden müssen. Nach den Erläuterungen, die bei der Besprechung des entsprechenden Gebietes von K 1 gegeben wurden, sind diese als {hkl}-Vizinalen aufzufassen, die den in den [0$\bar{1}$1]*-Zonen liegenden {hkk} sehr nahe benachbart sind. Die Abweichungen von dem {100}-Wert selbst betragen für die genannten Hauptreflexionen durchschnittlich 2° bis 2,5°. Weiter nach außen folgt ihnen nach beiden Seiten meist aber nicht immer noch ein lichtschwächeres Signal, bisweilen auch nur ein Randwert, der das Würfelgebiet abschließt.

Durch einen deutlichen dunklen Zwischenraum abgesondert, findet man beim Fortschreiten in der Zone häufig ein Einzelbild mit der Intensität IV oder V, seltener einen Schimmer. Den vermessenen Abständen zum {100} lassen sich fast stets bestimmte Indizes zuordnen, die innerhalb des Rahmens {10.1.1}, {911} bis {811} liegen. Anschließend folgt wieder ein größerer Dunkelbereich.

Beim „Oktaeder" erkennt man eine deutliche Verbesserung der Flächenentwicklung gegenüber dem ersten Wachstumsstadium. Der Reflexionsbereich ist durchschnittlich 7° ± 1° breit. Mit Regelmäßigkeit heben sich zwei bisweilen auch drei Signale von dem hellen Hintergrunde heraus, dessen Randwerte die oben angegebene Breite bedingen. Gelegentlich sind die auftretenden Reflexe auch mit dem Symbol za zu versehen, die damit als {hkl}, die den in der Zone

Tabelle 6.

Goniometrische Vermessung des W.K. 32 aus der Versuchsreihe K 2 in der Zone [0 $\bar{1}$ 1].

Beschreibung des Signals	Einstellung des Signals	Breite des Refl.-Geb.	Winkelabstand	Index
I b za	104°05′		2°52′	?
III	102°40′		1°27′	?
berechnet	101°13′	6°55′	—	(100)
I b za	98°30′		2°43′	?
III	97°10′		4°03′	?
dunkel				
IV	93°15′		7°58′	(10.1.1)
dunkel				
R	50°30′		50°43′	~(766)
II za	48°40′	5°50′	52°33′	≫(10.9.9)
III b	44°40′		56°33′	?
dunkel				
V R	13°25′		87°48′	?
Minimum	11°40′	3°50′,	89°33′/90°27′	(011)
V R	9°35′		88°22′	?
dunkel				
R	342°00′		60°47′	~(455)
III b	337°25′	7°55′	56°12′	?
R	334°05′		52°52′	?
dunkel				
S	291°05′		9°52′	(811)
dunkel				
I za	284°17′		3°14′	?
berechnet	281°13′	7°12′	—	(100)
II za	279°45′		1°28′	?
IV	277°05′		4°08′	?
dunkel				
V	274°05′		7°08′	?
dunkel				
R	231°40′		49°33′	(655)
II b	227°20′	7°20′	53°53′	?
IV	225°15′		55°53′	?
R	224°20′		56°53′	?
dunkel				
V R	194°05′		87°08′	?
Minimum	191°50′	4°55′	89°23′/90°37′	?
R	189°10′		87°57′	?
dunkel				

auftretenden {hkk} und {hhl} sehr nahe liegen, aufgefaßt werden müssen. Die vermessenen Signale lassen sich ebenso oft bestimmten Indizes innerhalb der gewählten Beschränkung zuordnen, wie dies nicht der Fall ist. Der theoretischen Lage des {111} entsprechende Reflexe sind nicht zu beobachten. Die Abstände der Ränder des Reflexionsgebietes von dem wahren {111} sind meist ungleich, aber es läßt sich keine Gesetzmäßigkeit aufstellen. Sie können mit derselben Häufigkeit nach der Seite des Würfels größer wie auch kleiner sein als nach der des {110} hin.

Nächst dem Oktaederbereich tritt noch das dem {110} benachbarte Gebiet mit einer Reflexionsbreite von durchschnittlich 4,3° ± 0,5° auf. Es ist begrenzt durch als randliche Reflexionen zu findende Einzelsignale mit geringster Intensität, zwischen denen meist sehr lichtschwache Helligkeit zu beobachten ist. Eine Hervorhebung der wahren {110}-Lage erfolgt nicht, wenn man nicht ein äußerst flaches Minimum im Reflexionsgebiet dafür ansprechen will. Dieses ist jedoch in keiner Weise vermeßbar.

Besprechung der photographischen Aufnahmen in der [0$\bar{1}$1]*-Zone. Eine wesentliche Ergänzung dieser goniometrischen Beobachtungen sind die photographischen Aufnahmen, die nachfolgend besprochen werden. Die vier Abb. 30, 31, 32 und 33 zeigen ein von der Mittellage bis zur Randlage fortschreitendes Aufleuchten eines „Würfels" mit den in Betracht kommenden Vizinalen. In Bild 32 ist eine Reflexion dargestellt, die etwa der Hauptvizinalen, wie sie oben mit dem Symbol za gekennzeichnet wurde, entspricht. Die randliche Reflexion mit geringer Intensität kommt in Bild 33 ungefähr zum Ausdruck. Miteinspiegeln von Subindividuen in dem Z.G. ist wenig zu finden.

Die Aufnahmen 34, 35 und 36 zeigen die Flächenlagen, denen Indizes wie {811}, {711} und {611} zugeordnet werden können, und die nach der goniometrischen Vermessung in diesem Zonenbereich als abgesondertes Reflexionsgebiet auftraten. Die in Bild 36 stark aufleuchtende Stellung würde im vorliegenden Falle diejenige sein, deren Signal am Goniometer zu beobachten war.

Bei der Untersuchung mit Hilfe der photographischen Aufnahmevorrichtung folgen im Anschluß hieran deutliche Reflexionen, wie

sie subjektiv auf der Mattscheibe und objektiv durch die beigegebenen Bilder 37, 38 und 39 belegbar sind, die besonders in den beiden letztgenannten Aufnahmen keinem größeren einheitlichen Flächenstück des Zonengürtels entsprechen. Das aufleuchtende Gebiet besteht vielmehr aus einer großen Anzahl kleiner Begrenzungselemente von Subindividuen, die nur in Bild 37 noch einigermaßen im Äquator der eingestellten Zone zusammen gedrängt sind. Die Winkellagen, die sich mit der geringen Fehlergrenze von 1° immer wieder ergeben, entsprechen bei den drei Aufnahmen dieser Gruppe den Indizes {311}, {211} und {322}. Der Versuch, derartige Reflexionen auch am Goniometer zu vermessen, scheiterte daran, daß die zu dem im Institut vorhandenen Apparat gehörenden Beleuchtungs- und Ausblendevorrichtungen sich als unzureichend erwiesen. Das Fehlen von goniometrischen Beobachtungen in diesem fast 20° umfassenden Bereich muß also vorläufig darauf zurückgeführt werden, daß die bisher benutzte Einrichtung nicht geeignet war, die durch die Summe so zahlreicher kleiner Flächenstücke entstehende Lichterscheinung sichtbar zu machen.

Der Reflexionsbereich des „Oktaeders" ist durch die Abb. 40 bis 44 dargestellt. Das erste Aufleuchten in der Aufnahme 40 entspricht mit der Flächenlage {766} dem Rand nach dem Würfel hin, während die Grenze nach dem Rhombendodekaeder hin mit {554} in Abb. 44 zu erkennen ist. Die dazwischen liegenden Bilder zeigen die durchaus gerundete Oberfläche des zusammenhängenden {111}-Flächenstückes, von dem niemals ähnlich glänzende und gleichmäßig reflektierende Gebiete zu beobachten waren, wie das etwa für das {100}-Gebiet der Fall war. Deutlich zeigen aber diese Bilder, daß sich ein nun wirklich als Flächengebiet zu bezeichnendes „Oktaeder" entwickelt hat. Bei Abb. 14 der Serie K 1 fehlt im Gegensatz hierzu ein derartiger Zusammenhang der einzelnen Flächenteile vollkommen.

Die Bilder 45 und 46, die den Flächenlagen {221} und {331} entsprechen, zeigen, daß im Anschluß an das Oktaeder, aber deutlich von diesem getrennt, wieder eine große Zahl von kleinen Flächenstücken von Subindividuen aus dem Z.G. wie aus dem Zonengürtel selbst zur Reflexion gekommen ist. Besonders häufig wurde mit Hilfe der subjektiven Beobachtung an der photographischen Appa-

ratur ein Aufleuchten in dem Bereich, der als einfachst indizierbare Flächenlage {331} enthält, festgestellt. Aber auch von diesen Bildern muß gesagt werden, daß es, wie bereits bei der Besprechung der Abb. 37 bis 39 angegeben wurde, mit der goniometrischen Einrichtung nicht möglich war, in diesem Winkelbereich entsprechende Reflexe zu vermessen.

Dem {110}-Gebiet gehören die Aufnahmen 47, 48 und 49 an. Der äußersten Randlage dieses Zonenstückes entspricht die Abb. 47 mit den Indizes {771}. Die hier auftretenden Reflexionen sind noch so wenig zusammenhängend, daß sie ebenfalls noch nicht goniometrisch erfaßt werden konnten. Die Grenzen des in der Besprechung der Tabelle 6 gekennzeichneten Reflexionsgebietes stellen vielmehr nach der einen Seite die Aufnahme 48 und fast symmetrisch dazu gelegen die Aufnahme 49 dar. Sie sind etwa 3° bzw. 2° von der theoretischen {110}-Lage entfernt. Man sieht hier wohl zusammenhängende Flächengebiete, sie gehören aber zum weitaus größten Teil nicht dieser Zone, sondern der [001]*-Zone an, und sie entsprechen den dort auftretenden dem {110} vizinalen {hk0}. Mit Rücksicht auf die frühere Auffassung derartiger Flächenstücke als {110}-Fläche ist darauf hinzuweisen, daß ein Zurücktreten der Streifung nach [001]* eingetreten ist, das immerhin den Eindruck einer {110}-Fläche begreiflich erscheinen läßt.

3. Ergebnisse der Versuchsreihen N 1 und N 2.

Die W.K. der Reihen N 1 und N 2 wurden im Verlaufe der Arbeit als erste Hauptversuche den geschilderten Messungen unterworfen. Da hierbei noch nicht die später erworbenen Erfahrungen in der goniometrischen Untersuchung und photographischen Wiedergabe vorlagen, können die gewonnenen Ergebnisse nicht mit denen der Reihen K 1, K 2 und N 3 in gleiche Linie gestellt werden. So wurden z. B. bei der goniometrischen Vermessung Reflexe mit geringen Intensitäten überhaupt nicht gewertet und, falls solche mit höheren Intensitäten fehlten, nur die Breitenausdehnung des auftretenden Reflexbandes oder der sonstigen Lichterscheinung vermerkt. Die Apparatur zur photographischen Wiedergabe wurde ebenfalls noch nicht so gut beherrscht, sodaß nur Ausschnitte aus den brauchbar-

sten Aufnahmen hier Verwendung finden sollen. Es genügt infolgedessen, wenn zur Vervollständigung der im folgenden Abschnitt wiedergegebenen genauen Vermessungen der Versuchsreihe N 3 hier nur die wesentlichsten Beobachtungstatsachen von N 1 und N 2 zusammengefaßt aufgeführt werden.

Besprechung der goniometrischen Vermessung in der [001]*-Zone. Für das Würfelgebiet lassen sich dieselben Hauptvizinalen vermessen, wie sie etwa bei K 2 zu beobachten waren. Ihre Winkelwerte waren infolge der auch aus Abb. 50 erkennbaren Parkettierung, die durch die Beschaffenheit des natürlichen Ausgangsmaterials hervorgerufen wurde, in dem Stadium N 1 zunächst stark streuend. Bei N 2 sind dann die Werte mit durchschnittlich 2,5° ± 0,5° unter Wegfall der vorherigen Schwankung gemessen worden. Die zwischen den Hauptvizinalenreflexen auftretenden zd-Werte der Mittellage waren überall vorhanden. Die Gesamtbreite hat gegenüber K 2 kaum eine Änderung erfahren.

Aus den obengenannten Gründen fehlen bei den goniometrischen Vermessungen in dieser Zone .Angaben über das {510} und das {310}. Diese Flächenlagen sind sicherlich vorhanden, aber sie liegen, wie später auch am N 3 gezeigt werden kann, bereits in dem Z. G. und sind überdies recht lichtschwach. Die {210}-Gebiete haben ebenfalls in allen Fällen die charakteristischen Hauptvizinalen mit je etwa 1° Winkelabstand zum theoretischen {210}-Wert erkennen lassen. Außerdem treten besonders häufig intensivere Reflexbilder von Flächenlagen auf, die den Indizes {940} und {950} zuzuordnen waren. Mit größerem Abstand zu {210} kamen {530} und {730} häufiger vor und waren immerhin noch so lichtstark, daß sie selten übersehen werden konnten. Da auf Reflexionen geringer Intensität kein Wert gelegt wurde, erschien die Gesamtbreite der {210}-Gebiete naturgemäß kleiner als bei den übrigen Versuchsreihen. Sie wurde mit etwa 6° ± 1° gemessen. In dem {750}-Bereich sind von den Indizes {10.7.0} und {320} am häufigsten beobachtet worden. {110} selbst war nicht zu verzeichnen.

Besprechung der photographischen Aufnahmen in der [001]*-Zone. Bild 50 zeigt die Felderteilung des ganzen Würfelgebietes im Stadium N 1. {100} besteht im wesentlichen aus kleinen Teilstücken, die durch feinere und gröbere Stufen vonein-

ander abgegrenzt sind. Nur in der Mitte hat sich bereits eine Einebnung der Parkettierung vollzogen. Diese ist in Bild 51, das dasselbe Gebiet für denselben W.K. wie Abb. 50 aber im Stadium N 2 zeigt, fast bis zum Rand des {100} fortgeschritten. Dies ist bemerkenswert, weil hieraus ersichtlich ist, daß bei genügend langsamem Wachstumsvorgang durchaus keine Neigung besteht, die durch den fehlerhaften Bau des Ausgangsmaterials bedingten Flächenstufen zu vergröbern. Die Fortsetzung dieser Entwicklung erkennt man in Abb. 78 der Versuchsreihe N 3, in der noch weitere Einebnung im Bereich der Würfelvizinalen eingetreten ist. Abb. 52 entspricht in seiner Einstellung der {510}-Lage. Es ist hier zu beachten, daß nur die hellsten Streifen als eigentliche Reflexion aufzufassen sind und die benachbarten Gebiete nur infolge Streustrahlung so halbhell erscheinen. {510} findet sich demnach als Abstumpfung der Kombinationskante {100}:{210} und als Begrenzungselement der Stufen des Würfels. Auch in dem Z.G. leuchten einige Flächenstücke auf. In Bild 53 ist {950} reflektierend dargestellt. Man sieht, daß außer dem {210}-Bereich auch die seitlichen Stücke der groben Stufen der Würfelparkettierung, sowie Teile des Z.G. zur Reflexion gelangen. Die Bilder 54 und 55 zeigen am fortgeschrittenen Wachstumsstadium N 2 die Entwicklung des Zonenabschnittes um das {110}. Abb. 54 entspricht der Flächenlage {320}, der in Abb. 55 das {540} folgt. Die früher hervorgehobenen Besonderheiten, sind auch hier deutlich zu erkennen.

Besprechung der goniometrischen Vermessung in der $[0\bar{1}1]^*$-Zone. In diesen Zonen gilt für den Würfel dasselbe, das schon bei K 2 gesagt werden konnte. Es wurden in der Regel die beiden Hauptvizinalen mit dem Symbol za sowie nach beiden Seiten je ein weiterer intensiverer Reflex mit einem durchschnittlichen Winkelabstand von etwa $4° \pm 1°$ vermessen. Die feinere Ausbildung des Vizinalgebildes gleicht der im Stadium K 2. Auch hier führte die Einebnung der Felderteilung des Würfels beim Übergang von N 1 zu N 2 zu einem Verschwinden der groben Schwankungen der Meßergebnisse. In ganz gleicher Weise wie bei K 2 findet sich auch ein {911}-Bereich. In dem {111}-Gebiet wurden im allgemeinen Winkelbreiten von durchschnittlich $7{,}0° \pm 1{,}5°$ für die intensiven Reflexionen vermessen. In einer Reihe von Fäl-

len ließ sich {111} selbst als Reflex finden. In den dem theoretischen Wert nahen Winkellagen konnte bei N 1 und N 2 auch gelegentlich eine Aufspaltung in Doppelreflexe mit dem Symbol za festgestellt werden. Die häufigst auftretenden Indizes waren {988} und {10.9.9} nach dem Würfel hin sowie {10.10.9} und {998} nach dem Rhombendodekaeder hin. Der Bereich um das {110} zeigte in seiner Entwicklung große Ähnlichkeit mit dem entsprechenden Zonenabschnitt bei K 2. Es wurden durchschnittliche Reflexbreiten von 6° ± 1° verzeichnet.

Besprechung der photographischen Aufnahmen in der [011]*-Zone. Von dem Entwicklungsstadium des {100}-Gebietes in Versuchsreihe N 1 gibt Bild 56 einen Eindruck. Der Mittelteil ist bereits verhältnismäßig eben, während die Randgebiete zahlreiche Stufen aufweisen. Wie weit bei N 2 die Einebnung fortgeschritten ist, zeigt Abb. 59, die etwa die Reflexionsstellung der {hkk}-Hauptvizinalen wiedergibt. Das sich anschließende {911}-Gebiet ist für N 2 in Abb. 60 dargestellt. Es läßt sich erkennen, wie die angrenzenden Würfelvizinalen noch immer wie mit kleinen Lichtpünktchen besät erscheinen. Man sieht hier auf die Endflächen der Stufen, die die Parkettierung des Würfels ergaben. Aus diesen Bildern ist ebenfalls augenscheinlich, daß die fortschreitende Entwicklung der W.K. nicht zu einer Vergröberung der vorhandenen Unebenheiten führt, sofern nicht apparative Störungen das Wachstum der Kristalle erheblich beeinflussen. Zwischen dem Würfelgebiet und dem eigentlichen Oktaedergebiet kann man in dem eigenartig ausgebildeten Z.G. eine immer wiederkehrende Reflexionsstelle mittels der photographischen Einrichtung auffinden, die in der Aufnahme 61 der ungefähren Lage von {211} entspricht.

Ein Bild der Entwicklung des {111}-Gebietes im Stadium N 1 verschafft Abb. 57. Im Reflexionsbereich treten zahlreiche Stufenbildung und die allgemeine Verrundung des Oktaedergebildes hervor. Bild 62 zeigt das {111} im Stadium N 2 mit einer Reflexionsstellung die etwa {10.10.9} entspricht. Hier sind die Flächenstufen im eigentlichen {111} verschwunden. Die charakteristische Form der Vizinalen des {111} ist noch nicht besonders ausgebildet. Abb. 58 zeigt das {110}-Gebiet nach dem Versuch N 1. Die kennzeichnende Streifung nach [001]* ist noch deutlich vorhanden. Im Stadium

N 2 tritt diese weitgehend zurück und die Entwicklung dieses Zonenabschnittes gleicht der, wie sie für die Versuchsreihe K 2 beschrieben wurde. Abb. 63 zeigt die häufig vertretene Reflexionslage {771}. Die einzelnen aufleuchtenden Flächenteile liegen nicht im eigentlichen Zonengürtel, sondern reichen weit in das Z.G. hinein. Bild 64 stellt schließlich die letzte Reflexion vor dem Pol des {110} dar, die von jenem etwa 2° entfernt liegt.

4. Ergebnis der Versuchsreihe N 3.

Besprechung der goniometrischen Vermessung in der Zone [001]. Auch in diesem schon reichlich weit fortgeschrittenen Wachstumsstadium hat sich gegenüber den Beobachtungen, die oben für die früheren Versuchsstadien geschildert wurden, nichts Wesentliches geändert. Es lassen sich wiederum dieselben Reflexionsbereiche zusammenfassen, wie Tabelle 7 zeigt.

Die Mittellage des Würfels ist auch hier durch einen Reflex mittlerer Intensität mit dem Symbol zd vertreten, und es werden somit die Vizinalen der Form {hk0} vermessen, die in der zur untersuchten senkrecht stehenden Zone liegen. Die Gesamtbreite des Reflexionsgebietes hat sich nicht geändert und beträgt im Durchschnitt über alle W.K. dieser Reihe 10,6° ± 2°. Die neben der Mittellage auftretenden Vizinalen {hk0} liefern auch hier stets die intensivsten Reflexe. Nach außen werden sie von weiteren, durchschnittlich je zwei Bildern mit abnehmender Lichtstärke begleitet. Die Randwerte des im ganzen sehr symmetrischen Reflexionsgebietes werden von den Indizes {10.1.0} bis {910}, ausnahmsweise sogar bis {710} gebildet. Bemerkenswert erscheint, daß die dem Mittelwert unmittelbar benachbarten Hauptvizinalen nur noch einen Winkelabstand von durchschnittlich 2,0° ± 0,5° aufweisen.

Im Anschluß an den Würfel treten die in den früheren Wachstumsstadien beobachteten {510}-Gebiete zwar in 75% aller möglichen Fälle auf, doch gehören sie, wie auch durch die nachfolgenden photographischen Aufnahmen ersichtlich ist, stets zu Flächenstükken, die als Begrenzungselemente von Subindividuen im Z.G. vorliegen. Im eigentlichen Zonengürtel [001]* fehlt in diesem Stadium das {510}, da Würfel- und {210}-Bereich in einer Kombinationskante

Tabelle 7.

Goniometrische Vermessung des W.K. 10 aus der Versuchsreihe N 3 in der Zone [001].

Beschreibung des Signals	Einstellung des Signals	Breite des Refl.-Geb.	Winkelabstand	Index
V	98°20′		5°45′	(10.$\bar{1}$.0)
III	94°56′		2°21′	?
I b	94°05′		1°30′	?
IV b zd	92°35′	11°10′	—	(100)
I b	90°35′		2°00′	?
III	89°31′		3°04′	?
V	87°10′		5°25′	~(10.1.0)
dunkel				
III!	81°33′		11°02′	~(510)
dunkel				
III!	75°00′		17°35′	?
dunkel				
III!	73°30′		19°05′	?
dunkel				
IV	70°00′		22°35′	?
III za	67°53′		24°42′	?
III	66°20′		26°15′	~(210)
I za	65°05′	7°11′	27°30′	?
IV	64°20′		28°15′	~(950)
R	62°49′		29°46′	(740)
dunkel				
IV b	57°44′		34°51′	?
dunkel				
IV	38°51′		36°44′	(340)
dunkel				
R	32°42′		30°35′	< (350)
III b	31°05′		28°58′	> (590)
III b za	30°12′		28°05′	< (590)
I za	27°51′	7°52′	25°44′	?
IV	26°09′		24°02′	(490)
IV	24°50′		22°43′	< (370)
dunkel				

Fortsetzung zu Tabelle 7.

Beschreibung des Signals	Einstellung des Signals	Breite des Refl.-Geb.	Winkelabstand	Index
R	10°35′		8°28′	~(170)
III	5°42′		3°35′	?
II b	4°29′		2°22′	?
III bb zd	2°07′	14°37′	—	(010)
I b	0°30′		1°37′	?
IV	359°26′		2°41′	?
R	355°58′		7°09′	(1̄80)
dunkel				
IV!	344°46′		17°21′	?
dunkel				
IV	340°15′		21°52′	(2̄50)
IV	338°21′		23°46′	~(4̄90)
II za	337°04′		25°02′	?
III	335°33′	8°35′	26°34′	(1̄20)
I b za	334°27′		27°40′	?
IV	332°56′		29°11′	?
R	331°40′		30°27′	<(3̄50)
dunkel				
IV b	326°50′		35°17′	~(5̄70)
dunkel				
IV	306°04′		34°04′	>(3̄20)
dunkel				
R	301°14′		29°14′	<(7̄40)
I b za	299°45′		27°45′	?
III	298°19′		26°19′	~(2̄10)
I za	297°08′	9°38′	25°08′	?
IV	296°04′		24°04′	(9̄40)
III	294°14′		22°14′	>(5̄20)
III	291°36′		19°36′	?
dunkel				
V!	281°22′		9°22′	(6̄10)
dunkel				
IV	276°04′		4°04′	?
II b	274°09′		2°09′	?
IV zd	272°00′		—	(1̄00)
II	270°02′	11°09′	1°58′	?
IV	268°50′		3°10′	?
V R	264°55′		7°05′	(8̄10)
dunkel				

Fortsetzung zu Tabelle 7.

Beschreibung des Signals	Einstellung des Signals	Breite des Refl.-Geb.	Winkelabstand	Index
V!	261°04′		10°56′	$<(\bar{5}\bar{1}0)$
dunkel				
V!	253°57′		18°03′	$<(\bar{3}\bar{1}0)$
dunkel				
V	249°36′		22°24′	?
V	247°48′		24°12′	$\sim(\bar{9}\bar{4}0)$
II b za	246°40′		25°20′	?
I za	244°45′	7°26′	27°15′	?
I za	244°04′		27°56′	?
III	243°00′		29°00′	$>(\bar{9}\bar{5}0)$
R	242°10′		29°50′	$(\bar{7}\bar{4}0)$
dunkel				
IV	235°40′		36°20′	$\ll(\bar{4}\bar{3}0)$
dunkel				
R	221°42′		38°57′	$\sim(\bar{4}\bar{5}0)$
R	216°19′	5°23′	33°34′	$(\bar{2}\bar{3}0)$
dunkel				
R	212°22′		29°37′	$(\bar{4}\bar{7}0)$
I b za	210°29′		27°44′	?
III	209°14′		26°29′	$(\bar{1}\bar{2}0)$
II za	207°30′	8°02′	24°45′	?
III	206°41′		23°56′	$(\bar{4}\bar{9}0)$
III	205°40′		22°55′	$\sim(\bar{3}\bar{7}0)$
IV	204°20′		21°35′	$\sim(\bar{2}\bar{5}0)$
dunkel				
IV!	199°56′		17°11′	$>(\bar{3}.\bar{1}0.0)$
dunkel				
V!	192°23′		9°38′	$(\bar{1}\bar{6}0)$
dunkel				
III	186°40′		3°55′	?
I b	185°03′		2°18′	?
IV zd	182°45′		—	$(0\bar{1}0)$
I b	180°02′	9°34′	2°43′	?
IV	178°57′		3°48′	?
V	177°06′		5°39′	$(1.\bar{1}0.0)$
dunkel				

Fortsetzung zu Tabelle 7.

Beschreibung des Signals	Einstellung des Signals	Breite des Refl.-Geb.	Winkelabstand	Index
V!	171°00′		11°45′	>(1$\bar{5}$0)
dunkel				
V!	163°43′		19°02′	≫(1$\bar{3}$0)
dunkel				
IV	158°52′		23°53′	(4$\bar{9}$0)
I b za	157°29′		25°16′	?
III	156°40′		26°05′	<(120)
III	155°40′	6°57′	27°05′	≫(1$\bar{2}$0)
II za	154°41′		28°04′	<(590)
III	153°40′		29°05′	?
IV	153°00′		29°45′	(4$\bar{7}$0)
R	151°55′		30°50′	(3$\bar{5}$0)
dunkel				
V	145°00′		37°45′	(7$\bar{9}$0)
dunkel				
S bb	136°00′		46°45′ 43°25′	?
dunkel				
IV	126°53′		34°18′	>(3$\bar{2}$0)
dunkel				
R	122°39′		30°04′	~(7$\bar{4}$0)
IV	121°25′		28°50′	~(9$\bar{5}$0)
II za	120°12′		27°37′	?
III	119°20′	7°07′	26°45′	~(2$\bar{1}$0)
III za	117°46′		25°11′	?
IV	117°04′		24°29′	≫(9$\bar{4}$0)
IV	116°09′		23°34′	>(7$\bar{3}$0)
IV	115°32′		22°57′	~(7$\bar{3}$0)
dunkel				
V!	111°28′		18°53′	>(3$\bar{1}$0)
dunkel				
V!	103°27′		10°52′	<(5$\bar{1}$0)
dunkel				

zusammenstoßen. Die zu indizierenden Flächenlagen gehören dabei ebenso oft dem {510} wie dem {610} an.

Weiterhin folgt nun stets isoliert vom {210}-Gebiet auftretend der Bereich der {310}-Reflexionen. Er wurde in 90% aller möglichen Fälle beobachtet und hatte dann meist die Intensität IV. Die vermessenen Winkellagen entsprachen in 50% aller Werte innerhalb der gewählten Fehlergrenzen dem {310}. In den übrigen Fällen waren sie höchstens ± 1° davon verschieden. Auch hier zeigte die Beobachtung sowohl am Goniometer wie auch an der photographischen Apparatur, daß dem Zonengürtel angehörende Flächenstücke {310} nicht mehr vorhanden sind. Die beobachteten Reflexionen stammen vielmehr von zahlreichen Begrenzungsteilen der Subindividuen aus dem Z.G.

Ein Hauptreflexionsgebiet stellt natürlich wieder das {210} und seine Vizinalen dar. Infolge der Loslösung des {310}, das in das Z.G. abgewandert ist, beträgt die durchschnittliche Winkelbreite nur noch 8,0° ± 1,5°, wobei die theoretische {210}-Lage mit etwa 3,5° bis 4,0° Abstand vom Rand nach dem Rhombendodekaeder hin fast die Mitte des Reflexionsgebietes einnimmt. Das {210} selbst tritt zwar in 50% aller Fälle als ein Reflex mittlerer bis geringer Intensität auf, doch bilden auch hier die Hauptreflexionen mit ungefähr 1° Winkelabstand die schon bei K 1 und K 2 ausführlich geschilderten sehr intensiven za-Werte, die vier (hkl) entsprechen. Es konnten in den meisten Fällen etwa sieben Reflexbilder vermessen werden. Mehr als die Hälfte davon lassen sich mit Indizes benennen. Man kann dabei feststellen, daß im Teil nach dem Würfel hin {940} und {730} ganz besonders bevorzugte Werte sind, wie dies nach dem Rhombendodekaeder zu für {950} und {740} gilt.

Schließlich ist das Zonenstück zusammenfassend zu besprechen, das um das {110} liegt. Im voraus muß betont werden, daß trotz der auch aus den nachfolgenden Bildern ersichtlichen scheinbaren Breite dieser Flächenlagen keinerlei {110}-Werte auftreten. Ein sehr breiter verwaschener Schimmer war in einem einzigen Falle zu beobachten. Nur Vizinalen zum {110} lassen sich finden und zwar meist mit der Intensität IV. Ihre Winkellagen wechseln außerordentlich stark. Sie reichen für den W.K. 10 der Tabelle 7 unter Bevorzugung des {320} und {10.7.0} über {750}, {430} bis zum {970}.

Dieselbe Reichweite tritt bei den anderen vermessenen W.K. auf, es läßt sich aber eine Bevorzugung von {320} und {10.7.0} dort nicht scharf herausarbeiten.

Besprechung der photographischen Aufnahmen in der [001]*-Zone. Auch dieser Zonensektor sei wieder an einer Reihe photographischer Aufnahmen erläutert. Die Entwicklung des {100}-Gebietes zeigen die Abb. 65 bis 69. Bild 65 läßt fast keine Reflexion erkennen und entspricht dabei der genauen Mittellage des Würfels. Eine feine diagonale Streifung deutet an, daß nicht nur {hk0}-Vizinalen vorhanden sind. Es sei außerdem besonders darauf hingewiesen, daß das Bild gleichzeitig erkennen läßt, wie wenig Z.G. in diesem Wachstumsstadium noch vorhanden ist. Es haben sich ferner deutliche und scharfe Kombinationskanten zwischen dem {100} und dem {210}-Gebiet entwickelt. In den weiteren Bildern 66 bis 69 treten die diagonalen {hkk} durch die Streifung deutlicher hervor. Während in Abb. 66 die der Mittellage sehr benachbarten — etwa {60.1.0} — {hk0}-Vizinalen einspiegeln, reflektieren in Bild 67 die Hauptvizinalen mit der Lage {30.1.0}. Abb. 68 entspricht den Indizes {20.1.0} und zeigt das Weiterwandern des aufleuchtenden Flächenteiles nach dem Rand, der schließlich in Abb. 69 mit der Lage {10.1.0} erreicht ist. Hier treten schon einige Reflexionen aus dem unmittelbar nördlich und südlich der Kombinationskante liegenden Z.G. hinzu.

Mit dem aus der goniometrischen Vermessung her ersichtlichen deutlichen Winkelabstand folgt in Bild 70 die Reflexionsstellung des {510}-Gebietes. Man sieht, daß nur nördlich und südlich der Kombinationskante zwischen {100}- und {210}-Gebiet zahlreiche verhältnismäßig große Flächenstücke von Subindividuen aus dem Z.G. zum Aufleuchten kommen. Dasselbe gilt für das {310}-Gebiet, das in Abb. 71 sich anschließt. Ein Vergleich der Aufnahmen 69, 70 und 71 läßt sofort erkennen, daß es jeweils verschiedenartige Begrenzungselemente sind, die von den Subindividuen zum Einspiegeln gelangt sind. Nebenbei sei auf die bereits in Bild 71 deutlich erkennbare Vizinalenbildung auf dem nun folgenden {210}-Bereich hingewiesen.

Die Bilder 72 bis 74 stellen die beiden randlichen sowie die Mittellage des {210}-Reflexionsgebietes dar. Man sieht in dem einem

{730} zugehörigen Bild 72 noch eine zarte Streifung nach [001]* und gleichzeitig auch, daß die Hauptreflexintensität dem im Zonengürtel gelegenen mittleren Teile dieser Flächenlage entspricht. Nach links in diesem Bild schließen sich zwei Vizinalen an, die die Gestalt spitzwinkeliger gleichschenkeliger Dreiecke besitzen. Letztere sind ebenfalls in Abb. 74 und schwächer in Abb. 73 erkennbar. Sie entsprechen im wesentlichen den {hkl}-Vizinalen des {210}, die mit 1° Winkelabstand um die theoretische Winkellage des {210} auftreten. Die Randreflexion nach dem {110} zu ist in Bild 74 mit den Indizes {740} wiedergegeben. Im Gegensatz zur Aufnahme 73 leuchtet hier der Mittelteil wieder deutlich bevorzugt auf, wie dies die vollkommene Zugehörigkeit zur [001]*-Zone verlangt. Die Abb. 73 zeigt im übrigen, daß Teilflächen von Subindividuen aus dem Z.G., wie dies noch in Bild 72 zu erkennen war, hier nicht reflektieren. Bei Bild 74 beginnt diese Erscheinung wiederum nördlich und südlich der Kombinationskanten (210):(120).

Das {750}-Gebiet als Vizinalen des {110} zeigen die Abb. 75 und 76, die etwa den Winkellagen {320} und {540} entsprechen. In beiden Fällen treten hauptsächlich die nördlich und südlich der noch nicht scharf ausgebildeten Kombinationskanten zwischen (210) und (120) reflektierenden Teilstücke des Z.G. hervor. Diese leuchten in Abb. 77 nur noch andeutungsweise auf, wie es der goniometrischen Beobachtung der {110}-Lage entspricht.

Besprechung der goniometrischen Vermessung in der Zone [101]. Auch in dieser Zone sind bei dem vorliegenden weit fortgeschrittenen Wachstumsstadium die gesonderten Reflexionsgebiete erhalten geblieben (vergl. Tab. 8), die schon bei K 1 und K 2 festgestellt werden konnten. Für das Würfelgebiet ist die Reflexionsbreite mit 9,0° ± 2,5° anzugeben. Ein Reflex, der der wahren Mittellage entspricht, tritt nicht auf. Die beiden Hauptvizinalen mit den Symbolen za gehören zu den schon früher näher geschilderten {hkk} sehr vizinalen {hkl}. Sie haben durchschnittlich einen Abstand von 1,8° bis 2,5° zum reinen {100}-Wert. Neben ihnen treten nach außen mit abnehmender Intensität stets noch je ein meist die Lichtstärke IV besitzendes Bild, oftmals auch noch ein weiteres mit dem Wert V oder R auf.

Anschließend hieran findet man das {911}-Reflexionsgebiet, dessen nicht immer vorhandenen Reflexe gewöhnlich die Intensität V

Tabelle 8.

Goniometrische Vermessung des W.K. 10 aus der Versuchsreihe N 3 in der Zone [101].

Beschreibung des Signals	Einstellung des Signals	Breite des Refl.-Geb.	Winkelabstand	Index
V	185°07′		2°55′	?
I za	183°57′		1°45′	?
berechnet	182°12′	8°24′	—	(0$\bar{1}$0)
I za	180°28′		1°44′	?
V	179°22′		2°50′	?
R	176°43′		5°29′	?
dunkel				
V	171°28′		10°44′	≫(1$\bar{8}\bar{1}$)
dunkel				
V	138°53′		43°19′	(2$\bar{3}\bar{2}$)
dunkel				
R	132°32′		51°40′	(8$\bar{9}\bar{8}$)
III za	129°30′		52°42′	?
II b	127°50′		54°22′	<(1$\bar{1}$1)
III za	125°40′	11°22′	56°32′	?
R	124°45′		57°27′	(10.$\bar{9}$.$\bar{10}$)
V	122°55′		59°17′	~(6$\bar{5}\bar{6}$)
V	119°10′		63°02′	(7$\bar{5}\bar{7}$)
dunkel				
R	98°19′		83°53′	<(7$\bar{1}\bar{7}$)
V b	95°42′	8°32′	86°30′	?
R	89°47′		87°41′	?
dunkel				
R	64°17′		62°11′	(43$\bar{4}$)
V za	60°56′		58°50′	(76$\bar{7}$)
V	59°40′		57°34′	(10.9.10)
III	58°50′		56°44′	?
IV za	57°50′	14°41′	55°44′	?
IV za	55°20′		53°23′	?
V	53°39′		52°33′	
V	53°04′		50°58′	(78$\bar{7}$)
R	49°36′		47°30′	~(79$\bar{7}$)
dunkel				
S	33°20′		31°14′	(37$\bar{3}$)
dunkel				
V	10°28′		8°22′	~(1.10.$\bar{1}$)
dunkel				

Fortsetzung zu Tabelle 8.

Beschreibung des Signals	Einstellung des Signals	Breite des Refl.-Geb.	Winkelabstand	Index
IV	6°03′		3°57′	?
II za	4°52′		2°46′	?
berechnet	2°06′	6°29′	—	(010)
IV za	1°20′		0°46′	?
II za	359°34′		2°32′	?
dunkel				
R	317°00′		45°06′	~($\bar{5}$75)
V	312°58′		49°08′	?
V	310°45′		51°21′	($\bar{8}$98)
IV za	309°48′		52°18′	> ($\bar{9}$.10.9)
IV b	307°35′	16°20′	54°31′	~($\bar{1}$11)
III za	305°47′		56°19′	?
R	304°50′		57°16′	~($\bar{1}$0.9.10)
IV	300°40′		61°26′	~($\bar{9}$79)
dunkel				
IV	280°25′		81°41′	~($\bar{5}$15)
R	274°05′		88°01′	?
R	270°00′	15°40′	87°35′	?
IV	264°45′		82°20′	> ($\bar{5}$15)
dunkel				
R	248°14′		65°49′	~($\bar{8}\bar{5}$8)
V	242°33′		60°08′	<($\bar{5}\bar{4}$5)
V za	239°27′		57°02′	<($\bar{1}$0.$\bar{9}$.10)
III b	238°41′		56°16′	?
IV za	235°11′	17°52′	52°46′	?
IV	234°25′		52°00′	($\bar{9}$.$\bar{1}$0.9)
V	233°07′		50°42′	~($\bar{6}\bar{7}$6)
R	230°22′		47°57′	~($\bar{7}\bar{9}$7)
dunkel				
V	192°14′		9°49′	~($\bar{1}\bar{8}$1)
dunkel				

besitzen und den Winkellagen {10.1.1} bis {811} entsprechen. Mit breitem Dunkelbereich abgegrenzt läßt sich in seltenen Fällen ein Schimmer oder Reflex geringster Lichtstärke beobachten, der dann im allgemeinen den Indizes {733} oder {744} zugeordnet werden konnte. Dies erscheint im Hinblick auf die photographische Beschreibung dieses Zonenbereiches im Stadium K 2 bemerkenswert. Ebenso selten tritt gelegentlich {322} mit der Intensität V auf. Letzteres schließt sich nahezu an das nachfolgend beschriebene sehr verbreiterte {111}-Gebiet an.

In dem vorliegenden Stadium ist das Wachstum des Oktaederbereiches soweit fortgeschritten, daß auch Feinheiten einer Entwicklung vermeßbar werden. Er zeigt mit seiner durchschnittlichen Breite von 14,0° ± 4° eine außerordentliche Schwankung. Letztere ist aber im wesentlichen dadurch bedingt, daß aus Zweckmäßigkeitsgründen alle jene dem {111}-Gebiet vizinalen Reflexionen noch mit einbezogen wurden, die zwar manchmal durch deutliche Dunkelstellen von aber nur 1° bis höchstens 2° Breite von dem Hauptgebiet abgetrennt waren. Da die Verteilung derartiger Dunkelbereiche im Reflexionsband ganz unregelmäßig sowohl nach dem {100} wie nach dem {110} zu auftrat, sind keine Gründe vorhanden gewesen, diesen Reflexionen eine gesonderte Stellung einzuräumen. Unter diesen Voraussetzungen sind in dem genannten Zonenabschnitt Indizierungen von fast {322} bis etwa {332} möglich. Sie spielen aber erst eine größere Rolle innerhalb des Bereiches {977} bis {997} und drängen sich schließlich mit bemerkenswerter Häufigkeit auf die Indizes {988} bis {10.10.9} zusammen. In 50% aller möglichen Fälle war {111} mit einem eigenen Reflex vertreten. Dieser war im allgemeinen breit und von mittlerer Intensität. Charakteristisch ist die hier zum ersten Male zu beobachtende Aufspaltung der engsten Nachbarschaft des {111} in einen Doppelreflex mit dem Symbol za. Der Winkelabstand zur reinen {111}-Lage beträgt im Durchschnitt 1,8°. Dies kann nicht davon herrühren, daß von den drei Flächen eines {hkk} oder {hhl}, die um ein Oktaeder liegen, immer nur eine genau in der untersuchten Zone selbst zu finden ist, da jene viel zu weit entfernt sind. Es handelt sich auch hier um {hkl}, die den genannten Reflexlagen sehr benachbart sich auf dem „Oktaeder" entwickelt haben.

Die Nachbarschaft des {110} weist an den vermessenen W.K. ein Hellgebiet auf, das mit durchschnittlich 10,5° ± 4° Breite großen Schwankungen unterworfen ist. Sie wird teils durch Randwerte mit unsymmetrisch liegenden breiten Einzelreflexen geringster Intensität dargestellt, teils treten mit der Intensität IV recht gut vermeßbare Reflexbilder am Außenrand auf, denen nach innen zu ein sehr flauer Randwert folgt, sodaß der wahren {110}-Lage ein immerhin deutliches Minimum der Lichtstärke entspricht. In anderen Fällen läßt sich im Innern wohl eine Abnahme in der Helligkeit des Reflexbandes feststellen, ohne daß aber ein deutliches Minimum vermessen werden kann. Soweit indizierbare Werte zu den Reflexen gehören, treten Zahlen von {10.10.1} bis {661} auf.

Besprechung der photographischen Aufnahmen in der [0$\bar{1}$1]*-Zone. Die Ergebnisse der goniometrischen Vermessung seien wieder an einer Reihe photographischer Aufnahmen bestätigt. Das Würfelgebiet erscheint in Abb. 78, die der theoretischen {100}-Lage entspricht, fast vollständig dunkel. Über Aufnahme 79 zeigt das Bild 80 mit einem Winkelabstand von etwa 2° von jener die Hauptvizinale, die ungefähr die Indizes {50.1.1} besitzen würde. Es handelt sich hier um die bei der Besprechung der goniometrischen Ergebnisse schon mehrfach hervorgehobene intensive Reflexion mit dem Symbol za. Aus dem Bild ist allerdings die in Wahrheit vorhandene Aufspaltung in zwei {hkl} nicht zu entnehmen. Im Bild 81 leuchten jene Teile auf, die der Flächenlage {25.1.1} entsprechend meist das Würfelgebiet in dieser Zone begrenzen. In Abb. 79 bis 81 läßt sich im übrigen die schon mehrfach betonte Feinstruktur des {100}-Bereiches erkennen. Die Aufnahme 82 zeigt in den wenigen Begrenzungselementen von Subindividuen des Z.G., die hier noch zwischen {100} und {111} übrig geblieben sind, eine Reflexion, wie sie etwa dem {911}-Gebiet der goniometrischen Vermessung entspricht.

Die Bilder 83 bis 85 stellen die „Oktaeder"-fläche dar, die sich zu einem fast allseitig gerundeten kreisförmigen Flächenstück entwickelt hat. Die ungefähr der wahren {111}-Lage zugehörende Abb. 84 zeigt, daß hier keine deutliche Reflexion zustande kommt, dagegen ließen sich die besonders bevorzugten {988} und {10.10.9} hellaufleuchtend in den Abb. 83 bzw. 85 wiedergeben. Man sieht

hier, daß auch erhebliche Teile der Z.G.-Begrenzungselemente diese Flächenlagen aufweisen.

Im Bild 86 ist schließlich die Feinstruktur des {110}-Gebietes zu erkennen. In dem ganzen Winkelbereich, der bei der Goniometrie hierzu gerechnet wurde, treten keine wesentlich anderen und intensiveren photographisch erfaßbaren Reflexionen auf als die hier wiedergegebene, die einem {10.10.1} zugeordnet werden kann. Man sieht, daß breite Flächenstücke in der [0$\bar{1}$1]*-Zone ebensowenig vorhanden sind, wie dies in Abb. 77 in der [001]*-Zone der Fall war. Man kann auch nicht von einer feinen Streifung parallel [001]* sprechen, wie sie auf Grund der allerersten Anfangsstadien vielleicht hätte erwartet werden können. Vielmehr gewinnt man den Eindruck, daß sich im rauhen {110}-Gebiet nur noch Subindividuenkörper befinden, die teils von {hk0}-, teils von {hhl}-Vizinalen begrenzt sind.

B. Bericht über orientierende Vorversuche anderer Wachstumsstadien.

1. Beobachtungen an zylindrischen Oberflächenstücken.

Nach den Ergebnissen, die an den Hauptversuchsreihen K und N gewonnen wurden, erschien es wünschenswert, die Wachstumsverhältnisse an einem noch früheren Stadium als K 1 kennen zu lernen. Damit die einzelnen Flächenteile dann noch mit genügender Sicherheit vermeßbar wären, hätte man Kugeln mit einem Radius von mindestens 50 mm benutzen müssen. Dies scheiterte neben den Ausmaßen der Apparatur an der Schwierigkeit, hinreichend großes Ausgangsmaterial zu erhalten. Aus diesem Grunde wurde die Untersuchung auf Teilbereiche aus den charakteristischen Zonen [001]* und [0$\bar{1}$1]* beschränkt, die dafür mit noch größerem Krümmungsradius angeschliffen werden konnten. Da die W.K .wegen der Begrenzung durch die Apparatur nur in einer Raumrichtung eine größere Ausdehnung aufweisen durften, wurde nicht ein Segment einer Kugeloberfläche, sondern ein Teil eines Zylindermantels hergestellt. Die Formen derartiger W.K. sind bereits auf Seite 27 angegeben worden.

Besprechung der Ereignisse in der [001]*-Zone. Für den W.K. 36, der zur Untersuchung des Bereiches von {100} bis {210} dienen soll, ergibt sich als bemerkenswerteste Tatsache, daß bei der goniometrischen Vermessung in dem gesamten Gebiet keine Dunkelstellungen zwischen den einzelnen Lichterscheinungen zu finden sind. Man erhält ein fortlaufendes Reflexband, aus dem einige intensivere Signale hervorragen. Der Winkelbereich um den Würfelpol wird beherrscht von den zwei intensiven Reflexbildern der {hk0}-Vizinalen, die bei allen früheren Beschreibungen dieses Zonenabschnittes verzeichnet wurden. Sie sind im Durchschnitt 2,5° ± 0,25° von der wahren Würfelmitte entfernt, die erwartungsgemäß nicht durch einen Doppelreflex mit dem Symbol zd wie den Kugelversuchen ausgezeichnet ist. Dafür findet man in der Mitte des Bildes ein Minimum der Lichtstärke. Dies erklärt sich daraus, daß bei der vorliegenden Krümmung, die einem Zylindermantel folgt, zwar (hk0) und ($h\bar{k}$0), nicht aber (h0k) und (h0$\bar{k}$) zur Entwicklung kommen können. Nach links und rechts folgt den Hauptvizinalen regelmäßig ein weiteres Maximum im Reflexband, das als wohlbegrenztes Spaltbild mit der Intensität III auftritt. Es entspricht mit seinem Abstand von 4,25° ± 0,5° zum {100} der ungefähren Randlage des Würfelgebietes im Stadium K 1.

Beim Fortschreiten im Reflexband tritt bei 6,5° ± 0,5° ein deutliches Spaltbild mittlerer Intensität auf. Ihm lassen sich die Indizes {910} und {810} zuordnen. Auch das {510}-Gebiet ist durch mehrere Signale vertreten und umfaßt neben dem eigentlichen {510} auch noch das {920}. Von nun an weist das Reflexband eine geringe Intensität auf, bis zwischen den Winkelwerten von 16,5° und 18,5° der {310}-Bereich erscheint. Außer diesem ist im Rahmen der getroffenen Einschränkung für die Indizierung das ihm sehr benachbarte {10.3.0} zu erhalten.

Mit unverminderter Helligkeit des Bandes schließen sich gute Einzelsignale mit den Winkelabständen 21°35′, 23°52′, 26°35′, 28°30′ und 31°00′ an, denen die Indizes {520}, {940}, {210}, {950} und {530} zugeordnet werden können, wobei für die letzten vier der genannten Werte die Fehlergrenze zwischen 0′ und 6′ liegt. Die sonst regelmäßig vermessenen Vizinalen mit je 1° Abstand zur theoretischen {210}-Lage treten nicht auf. Desgleichen findet sich die

Aufspaltung in za-Werte nur andeutungsweise. Dies erklärt sich in ähnlicher Weise wie bei den Würfelvizinalen.

Den nun folgenden Zonenabschnitt umfaßt der W.K. 37. Er bringt für das {210}-Gebiet keine neuen Ergebnisse. Deutlich läßt er aber erkennen, daß das Reflexband bei etwa 32° ein Minimum aufweist. In einem der vier vermeßbaren Fälle konnte an dieser Stelle ein Dunkelbereich von 2° festgestellt werden. Im anschließenden {750}-Gebiet treten als Einzelreflexe mittlerer Intensität {320}, {750}, {430} und {540} auf. Gleich nach dem letzten endet das Band und eine sich über 12° erstreckende Dunkelheit kennzeichnet die engste Nachbarschaft des {110}. Dies zeigen auch die beiden Abb. 87 und 88. In der zweiten leuchtet das {540} auf, wodurch die Streifung dieses Zonenabschnittes nach [001]* augenscheinlich wird. In Abb. 87 ist die wahre {110}-Lage dargestellt, die bis auf einige Lichtpünktchen vollständige Dunkelheit zeigt. Eine Untersuchung ergibt, daß die winzigen Flächenstückchen von {hhl}-Vizinalen herrühren, wie sie bei den entsprechenden Abschnitten in den Hauptversuchsreihen eingehender behandelt wurden.

Besprechung der Ergebnisse in der $[0\bar{1}1]^*$-Zone. Auch die $[0\bar{1}1]^*$-Zone wurde in drei Abschnitten an den W.K. 34 und 35 in einem frühen Wachstumsstadium untersucht. Vom Würfel beginnend ergibt sich hier ein zusammenhängendes Reflexband bis zu einem Winkelabstand von etwa 27°. Die theoretische {100}-Lage besitzt einen eigenen Reflex geringster Intensität, der nach beiden Seiten im Abstand von ungefähr 2° von je einem Signal begleitet wird, das Aufspaltung nach Art der za-Werte zeigt. Außerdem wurden {hkk}-Vizinalen, die etwa $4° \pm 1°$ und $7° \pm 0{,}5°$ entfernt liegen, beobachtet. Alle diese sind bei den gewählten Einschränkungen nicht indizierbar. Weitere sich anschließende Reflexe wurden bei 8°55′ und 9°50′ vermessen und gehören somit zum {911} bzw. {811}. Ferner finden sich Maxima der Intensität bei 15°30′, 17°55′, 18°10′, 22°15′ und 26°10′, während bei 27°15′ vollständige Dunkelheit eintritt. Dem ersten, zweiten und vierten Maximum lassen sich die Indizes {511}, {922} und {722} zuordnen.

Die Vermessung des W.K. 34 zeigt, daß in dem großen Winkelbereich 27° bis 50° keine Flächen zur Reflexion gelangen. Dann erst beginnt mit dem {766} der Oktaederbereich. Das Reflexband

desselben ist dadurch charakterisiert, daß deutliche Spaltbilder nicht auftreten, sondern nur verschiedene Intensitätsstufen unterschieden werden können. Die Maxima liegen bei den Werten 51°25′ —{988}—, 53°50′, 56°15′, 56°55′, 58°20′ —{887}—, 60°55′ —{554}— und 63°20′ —{775}—. Hieran schließt sich ohne scharfe Trennung ein sehr verwaschenes Reflexband mit geringster Intensität an, das den Bereich {332} bis {221} umfaßt. Es folgt ein 8° breites Dunkelgebiet. Bei 81° beginnt dann mit dem {922} ein weiteres Reflexionsgebiet, das {661} und {10.10.1} als deutliche Reflexe enthält. Die größte Helligkeit wird jedoch zwischen 86° und 88° erreicht. Sie bricht an dieser Stelle scharf ab. Man findet für die reine {110}-Lage wiederum ein deutliches Minimum der Intensität. Diese Erscheinung gleicht dem Ergebnis der Versuchsreihe K 1 für diesen Zonenabschnitt und wurde bei der Besprechung der Hauptversuchsreihen bereits behandelt.

Die W.K. 34 und 35 lassen außerdem noch eine interessante Besonderheit erkennen. Sie besitzen ja große angeschliffene {110}-Flächen. Diese sind natürlich ebenfalls gewachsen und zeigen, daß eine flächenhafte Entwicklung des {110} nicht im entferntesten ersehen werden kann. Die Aufnahme 89 stammt von einer solchen {110}-„Fläche", wobei die aufleuchtenden Flächenstücke der Winkellage eines {540} entsprechen. Daß keine eigentliche {110}-Reflexion beim Wachstum aus reiner wäßriger Lösung erhalten werden kann, mußte bereits bei allen vorstehenden Versuchsreihen verzeichnet werden. Bemerkenswert ist aber, daß die angeschliffenen großen {110} nicht die sonst immer zu beobachtende Streifung parallel [001]* aufweisen. Im Bild 89 müßte sie in der Nord-Süd-Richtung verlaufen. Man kann aber in dieser Richtung höchstens kurze Stücke von Kombinationskanten (hk0):(kh0) finden, die an Subindividuen auftreten. Dieser Unterschied gegenüber der sonstigen {110}-Ausbildung kann aber keineswegs darauf zurückgeführt werden, daß die angeschliffene {110}-Fläche eine grobe Fehlorientierung aufweist. Die im Bild ersichtlichen hellen Flächengebiete sind in gleichem Maße als (540) wie als (450) zu erhalten, woraus hervorgeht, daß beim Anschleifen die wahre {110}-Lage recht genau getroffen wurde. Ein Vergleich der Aufnahmen 88 und 89 zeigt die verschiedene Entwicklung derselben Flächenlage {540} deut-

lich. Da die beiden W.K. 35 und 36, von denen die genannten Bilder stammen, derselben W.G. angehören, scheiden voneinander abweichende äußere Bedingungen als Ursache aus. Daß das Zusammenstoßen des fraglichen Zonenbereiches mit einer Würfelfläche nicht den Anlaß zur Ausbildung der Streifung gibt, zeigen einmal die Kugelversuche. Zum anderen grenzt auch das nicht gestreifte {110} in Abb. 89 auch auf einer Seite an einen Würfel. Der einzige Unterschied der äußeren Einflüsse liegt darin, daß bei dem W.K. 35 mit dem nicht gestreiften {110} eine große, fast ebene {110}-Lage von Beginn an vorhanden ist, während sonst immer eine mehr oder minder starke Krümmung um die theoretische {110}-Lage zu verzeichnen ist.

2. Beobachtungen an polyedrischen W.K.

Alle bisherigen Ergebnisse ließen die Frage auftauchen, ob die gefundenen Vizinalenbildungen immer zu verzeichnen sind, oder ob sie an das Vorhandensein des Z.G. gebunden sind. Dies wenigstens in großen Zügen zu entscheiden, wurde eine W.G. zusammengestellt, die an den wesentlichen „Übergangstrachten", die sich beim Auswachsen von Kugeln bilden, einen vorläufigen Überblick geben sollte. W.K. 39 war eine reine dreizählige Kombination von {100} und {111} mit noch recht großem {210}. W.K. 41 wies nur {100} und {111} mit fast kubooktaedrischem Habitus auf, und schließlich wurde der einfache Würfel in W.K. 43 benutzt. Die Größenverhältnisse dieser drei W.K. waren so gewählt, daß alle {100} annähernd gleiche Zentraldistanzen besaßen (vergl. S. 24).

Besprechung der Ergebnisse an einer III-Kombination. Als wesentliches Ergebnis kann hervorgehoben werden, daß auch an einem polyedrischen W.K., bei dem außer {100}, {111} und {210} keine anderen Flächengebiete und noch viel weniger Z.G. auftreten, die Vizinalenbildung in ganz ähnlicher Weise zu finden ist, wie sie in den vorhergehenden Abschnitten beschrieben wurde. Das Würfelgebiet hat in der [001]*-Zone als Kennzeichnung seiner Mittellage wieder ein Doppelsignal mit dem Symbol zd. Die Intensität ist meist III. Von diesem treten nach beiden

Seiten mit einem Abstand von je 1°20′ ± 10′ die intensiven Hauptvizinalen auf, denen keine weiteren deutlichen Reflexe mehr folgen. Die Gesamtbreite beträgt im Durchschnitt 4°. Die {hk0}-Vizinalen beherrschen das Würfelgebiet noch vollständig. Der sich anschließende {210}-Bereich besitzt eine Breite von 6,5° bis 7,0° und zeigt {730} und {940} als randliche Reflexe zum {100} hin sowie {950} und {740} zum {110} hin. In etwa 30% aller möglichen Fälle tritt {210} mit einem eigenen Signal auf. Mit je 1° Abstand liegen zu beiden Seiten des theoretischen {210}-Wertes die intensivsten Reflexe. Diesen selbst sowie dem Reflexband zwischen ihnen kommt das Symbol za zu, das auf die schon früher behandelten {hkl}-Vizinalen verweist. Weitere Reflexe konnten im allgemeinen nicht gefunden werden.

Auch die Erscheinungen in der $[0\bar{1}1]$*-Zone schließen sich dem bei der Versuchsreihe N 3 Gesagten an. Für das Würfelgebiet, das eine Winkelbreite von 2,5° aufweist, ist die Mittellage durch kein eigenes Signal vertreten. Sein Bild beherrschen die Reflexe mit dem Symbol za, die voneinander 1,5° ± 0,3° entfernt liegen. Für das Oktaeder konnten regelmäßig {10.9.9} und {10.10.9} als Randreflexe vermessen werden. Zwischen ihnen liegt in allen Fällen ein Signal geringerer Intensität, das auf ± 0,3° der theoretischen {111}-Lage entspricht. Auch hier muß dem ganzen Reflexband zwischen den Randsignalen das Symbol za zugeschrieben werden, was wiederum auf {hkl}-Vizinalen hinweist.

Besprechung der Ergebnisse an einer II-Kombination. Am W.K. 41 konnte ferner ein Überblick erhalten werden, wie sich die Morphologie der Kristallflächen verhält, wenn nur noch {100} und {111} als Begrenzungen auftreten, d. h. nur noch Kombinationskanten {100}:{111} von den in früheren Stadien auftretenden neben den jetzt neu erscheinenden {100}:{100} vorhanden sind. Für das Würfelgebiet ergibt sich in der [001]*-Zone, daß das Reflexband von den Hauptvizinalen begrenzt wird, die voneinander einen Winkelabstand von 1,9° ± 0,3° haben. Ihre Intensität hat gegenüber früheren Stadien relativ abgenommen. In der Mitte erscheint nun ein deutliches Signal, das fast dieselbe Lichtstärke besitzt wie die Hauptvizinalen. Während dieses Spaltbild nach den Seiten scharf begrenzt erscheint, ist dies nach oben und unten nicht

der Fall. Es tritt also eine Überlagerung eines einfachen Signales mit einem zd-Doppelsignal ein. Somit findet man hier zum ersten Male Anzeichen einer wirklich den Indizes {100} entsprechenden Fläche. Dieselbe Erscheinung ist auch in der [0$\bar{1}$1]*-Zone zu verzeichnen. In den vorhergehenden Stadien wurde an dieser Stelle niemals ein Reflex für die Würfelmitte gefunden. Nunmehr ist für die theoretische Mittellage ein deutliches Signal zu verzeichnen, das die Intensität III besitzt. Von ihm sind die {hkk}-Vizinalen mit der Intensität II je 0,7° ± 0,1° entfernt. Mit ihnen ist die Breite des Reflexbandes gegeben. An dem Oktaederbereich ist keine Veränderung gegenüber W.K. 39 zu bemerken. Als randliche Reflexe treten {10.9.9} und {10.10.9} auf, zwischen denen als ungefähr gleich helles Signal {111} zu finden ist. Die Lichterscheinung selbst ist wieder durch za zu kennzeichnen.

Besprechung der Ergebnisse am reinen Würfel. Der W.K. 43 gibt schließlich Aufschluß darüber, welche morphologischen Erscheinungen zu beobachten sind, wenn keine anderen Flächenlagen als {100} am W.K. vorhanden sind. Es können also nur die Würfelkanten und die Würfelecken ihren Einfluß auf das Wachstum ausüben. Die Untersuchungen in den beiden Zonen [001]* und [0$\bar{1}$1]* ergeben nun, daß die Vizinalen des {100} praktisch verschwunden sind. Man findet nur noch ein einziges Signal, das noch wesentlich lichtstärker erscheint als die bisher mit I bezeichneten Reflexe. Außer diesem so stark hervorgehobenen Signal findet man nach beiden Seiten noch einige sehr lichtschwache Nebenbilder, deren Intensität schätzungsweise nur ein Zwanzigstel der des Hauptreflexes ist. Im Gegensatz zu den Helligkeitserscheinungen, die in den vorhergehenden Abschnitten als {100}-Reflexionsgebiete beschrieben wurden, ist zu vermerken, daß die Intensität der Nebenbilder nach den Rändern gleichmäßig abfällt. Es treten keine lichtstärkeren Signale mehr auf. Die früher regelmäßig gefundenen „Hauptvizinalen" des {100} lassen sich mithin nicht mehr feststellen. Es kann dabei mit dem zur Verfügung stehenden Goniometer nicht entschieden werden, ob die genannten Nebenreflexe durch den fehlerhaften Bau des Materials oder durch Vizinalen, die dann allerdings in ihrer Bedeutung gegenüber denen bei den W.K. der Übergangstrachten sehr zurücktreten, bedingt sind.

C. Größe und scheinbarer Krümmungsradius der Flächengebiete.

1. Die Breite der Flächen.

Eine ganze Reihe von Tatsachen, die bereits bei der Besprechung der goniometrischen Meßergebnisse verzeichnet werden konnten, lassen sich wiederfinden, wenn man die Breiten der einzelnen Flächengebiete durch mehrere Stadien hindurch verfolgt. Die Tabelle 9 enthält die Zahlenangaben, die man bei den Versuchsreihen N für den W.K. 10 erhält. Es wurden dabei nur die wesentlichen Richtungen bewertet, die durch die Lage der Symmetrieebenen gegeben sind. Für das {100}- und das {210}-Gebiet erkennt man eine stetige Zunahme in der Hauptsymmetrieebene. In verstärktem Maße findet sich diese beim Würfel in der Nebensymmetrieebene und beim {210} senkrecht zur Hauptsymmetrieebene. Für das {110} ergibt sich dasselbe, was bereits bei der Besprechung in den Abschnitten II A vermerkt wurde. In der [001]*-Zone nimmt die Flächenbreite ab, während in der [011]*-Zone eine Vergrößerung auftritt. Es sei darauf hingewiesen, daß als {110}-Gebiet auch hier der Be-

Tabelle 9.

Flächenbreiten in mm für verschiedene Richtungen gemessen an den Versuchsreihen N.

Versuchsreihe	N 1	N 2	N 3
{100} in HSE	6,78	7,01	7,92
{100} in NSE	7,25	7,51	9,66
{210} in HSE	4,30	4,35	5,07
{210} ⊥ HSE	4,10	4,57	6,23
{110} in HSE	2,61	2,72	1,53
{110} in NSE	3,19	3,20	3,63
{111} in NSE	5,95	5,43	6,59
{111} ⊥ NSE	6,29	6,09	6,37

reich der Vizinalen nach beiden Seiten gemessen wurde, der durch die Streifung nach [001]* ausgezeichnet ist. Das Oktaeder erscheint nahezu kreisförmig und wächst in den beiden untersuchten Richtungen fast gleich schnell weiter. Ob die etwas kleineren Werte der Reihe N 2 einer Gebietsverkleinerung entsprechen, oder ob bei der Ausmessung Verschiedenheit in der Einstellung der Ränder zu diesem Ergebnisse führte, kann nicht eindeutig entschieden werden. Bei der Kleinheit des Unterschiedes wird das letztere wahrscheinlicher.

Da in diesem Wachstumsstadium an den W.K. noch das Z.G. als recht ungenügend zu bestimmende Größe vorhanden ist, ist es wohl unzweckmäßig, durch weitgehende Auswertungen der Flächenbreiten Feinheiten der Flächenentwicklungen erkennbar machen zu wollen. Es sei aber hier darauf verwiesen, daß es mit ihnen einmal möglich sein wird, Angaben für das „tangentiale" Wachstum bzw. den Einfluß einspringender Winkel zu erhalten. Für den Fall N 3 möge folgende Überlegung ein Beispiel in dieser Hinsicht geben. Es ist die Kombinationskante zwischen {100}- und {210}-Gebiet vorhanden. Würden beide als ebene Kristallflächen gelten können, dann würde die Beziehung bestehen, daß die halbe Breitenzunahme des Würfels während der letzten Wachstumsperiode gleich dem Produkt aus der V.G. für das {210} und dem Sinus des theoretischen Winkelabstandes {100}:{210} ist. Mit den Ergebnissen, die man für die vermessenen mit Vizinalen bedeckten Flächenbereiche erhält, findet man, daß die auf vorstehende Weise berechnete „v_{210}" größer ist als der in der üblichen Art bestimmte aus der Änderung der Zentraldistanzen folgende Wert. Daraus ergibt sich, daß der Teil des {210}-Bereiches, der unmittelbar an das {100} grenzt, eine größere Dickenzunahme aufweist, als der aus der Mittelung der Zentraldistanzen des gesamten Flächengebietes sich ergebenden V.G. entspricht. Gliedert man sich nun das Wachstum des hier behandelten Teiles des {210} gemäß der molekulartheoretischen Vorstellungen in seine einzelnen Anlagerungsschritte, so folgt, daß Berechnungen der obengenannten Art es beim Vorliegen noch weiter verfeinerter Meßapparate gestatten werden, nähere Aussagen über das „tangentiale Wachstum" zu machen, d. h. über den Weiterbau begonnener Ketten- und Netzebenen.

2. Die scheinbaren Krümmungsradien.

Mit Hilfe der Flächenbreite und der Winkelbreite lassen sich für die einzelnen Gebiete scheinbare Krümmungsradien berechnen, die ein Maß für die Ebenheit der Flächengebiete darstellen. Es wurde hier der Halbmesser jener Kreise bestimmt, der die Flächenbreite als Sehne enthält und die Winkelbreite eines Flächenbereiches als den zur Sehne gehörenden Mittelpunktswinkel besitzt. In der Tabelle 10 sind die Krümmungsradien für den W.K. 32 im Stadium K 2 und für den W.K. 10 im Stadium N 3 angegeben, soweit sie aus den oben aufgeführten Messungen berechenbar waren. Aus der Größe der Abweichung derselben von dem ursprünglichen Kugelhalbmesser erkennt man, an welchen Bereichen der W.K. sich am häufigsten Wachstumsvorgänge ereignen. Je größer der Krümmungsradius ist, je mehr also ein Flächengebiet eingeebnet wird, desto intensiver muß in den zugehörigen Randgebieten das Wachstum verlaufen sein. Man kann an diesen Zahlen feststellen, bei welchem {hkl}-Gebiet die Anlagerungsvorgänge so verlaufen, daß dieses am ehesten sich der ideal ebenen „Kristallfläche" nähert.

Tabelle 10.

Krümmungsradien in mm der einzelnen Flächengebiete im Wachstumsstadium K 2 und N 3.

Versuchsreihe	K 2	N 3
{100} in HSE	34,99	42,87
{100} in NSE	43,96	61,56
{210} in HSE	27,28	36,41
{111} in NSE	22,11	27,08
Ausgangskugelradius	12,456	11,69

Die erheblichsten Änderungen gegenüber der Kugeloberfläche hat — für das Z.G. sind infolge der Kleinheit der Subindividuen keine Vermessungen möglich, und es muß somit bei solchen Betrachtun-

gen ausscheiden — das Würfelgebiet aufzuweisen. Bei ihm ist die Einebenung in der [0$\bar{1}$1]*-Zone merklich größer als in der [001]*-Zone. Bei der Besprechung der Ergebnisse der goniometrischen Vermessungen trat diese Erscheinung in der geringen Abnahme der Winkelbreite in der [0$\bar{1}$1]*-Zone auf. Wenn, besonders an Hand der photographischen Aufnahmen, ferner ein Vordringen der {hk0}-Vizinalen in das Gebiet der {hkk}-Vizinalen festgestellt werden konnte, so führt auch dies zur beschleunigteren Einebnung in der [011]*-Zone. Mit deutlichem Abstand folgen die entsprechenden Zahlen für das {210} und das {111}. Man kann aus den Krümmungsradien also entnehmen, daß, sofern dies überhaupt eintritt, {100} als erste Form eine ebene Fläche entwickeln sollte, während dieser Vorgang bei {210} und {111} längere Zeit in Anspruch nehmen würde.

Zeigen die Krümmungsradien selbst schon, an welcher Stelle der Oberfläche der W.K. die erheblichsten Abweichungen von der Gestalt der Ausgangskörper zu finden sind, so wird dies noch deutlicher, wenn man die Verhältnisse des Anwachsens derselben betrachtet. Setzt man die Halbmesser der Ausgangskugeln gleich 1, so erhält die Tabelle 10 folgendes Aussehen.

Tabelle 11.

Krümmungsradien der Tabelle 10 für den Radius der Ausgangskugeln als Einheit.

	{111} NSE	{210} HSE	{100} HSE	{100} NSE
K 2	1,78	2,19	2,81	3,54
N 3	2,32	3,12	3,67	5,27
Differenz	0,54	0,93	0,86	1,73

Hieraus geht eindeutig hervor, daß die Einebnung des {100} in der [011]*-Zone am bevorzugtesten ist. Obwohl {100} in der Hauptsymmetrieebene einen größeren Krümmungsradius als {210} besitzt, ist doch das Anwachsen derselben für {210} etwas stärker als für das {100}. Aus dem vorliegenden Zahlenmaterial ist noch nicht ent-

scheidend ersichtlich, ob diese Erscheinung dem Vorhandensein der Kombinationskante zuzuschreiben ist oder nicht. An letzter Stelle steht das {111}.

D. Ergebnisse von Messungen der Verschiebungsgeschwindigkeiten.

1. Bestätigung der Ergebnisse von A. Neuhaus.

Es konnte in der vorliegenden Arbeit gezeigt werden, daß die untersuchten „Flächen" nicht mathematische Ebenen sind, sondern daß sie ganze Bereiche von Vizinalen, die sich um ausgezeichnete {hkl} gruppieren, darstellen. Mißt man nun Zentraldistanzen, so wertet man ein Gebiet verschiedener Flächenneigungen aus. Es wurden daher für die folgenden Untersuchungen nur die Flächenteile berücksichtigt, die der theoretischen Winkellage am engsten benachbart waren. Dies ließ sich nach den vorangegangenen goniometrischen Vermessungen mit einiger Genauigkeit durchführen.

Die Ergebnisse bestätigen, soweit ihnen bei der groben Meßmethodik mit dem Tiefentaster eine entscheidende Bedeutung zukommt, die grundlegenden Tatsachen, die aus den Versuchen bei A. Neuhaus (7) zu ersehen sind. Dies zeige ein Beispiel für die W.G. mit verschiedenen Stadien in Tabelle 12. Es wurde bereits (vergl. S. 25) darauf verwiesen, daß die Verteilung der abgeschiedenen Salzmengen in mit der Zähligkeit der Kombination steigendem Maß erfolgte.

Tabelle 12.

Verschiebungsgeschwindigkeiten in μ/Tag für die W.K. 37, 39, 41 und 43.

W.K.	37	39	41	43
v_{100}	0	0	0	2
v_{111}	52,2	65,7	70,2	—
v_{210}	71,8	88,0	—	—

In Übereinstimmung mit den bei A. Neuhaus (7) beschriebenen Ergebnissen findet man, daß für die einzelnen W.K. die Reihe $v_{100} < v_{111} < v_{210}$ bestätigt wird, sowie daß für eine bestimmte V.G. $_{hkl}$ mit fallender Zähligkeit der Kombination eine Zunahme der betreffenden V.G. zu beobachten ist. Es sei hier darauf hingewiesen, daß für {110} keine V.G. vermessen wurden, da nach den vorstehenden Ausführungen über die Morphologie dieses Gebietes doch nur V.G. für Kanten hätten erhalten werden können. Auch für {750}, die seitliche Begrenzung der Streifung des {110}-Bereiches, war es nicht möglich, die Zentraldistanzen in der bisherigen Weise auszumessen. Daß die V.G. bei gleich großen W.K., die sich im gleichen Wachstumsstadium befinden, für die einzelnen Flächenlagen untereinander gleich sind, braucht nicht besonders ausgeführt zu werden. Dies geht im übrigen aus Tabelle 13 noch hinreichend deutlich hervor.

2. Fehlerquellen bei der Bestimmung der V.G.

Wie sich der Einfluß der Vorbehandlung der W.K. auswirkt, sei noch kurz an den Zahlen der Tabelle 13 für die V.G. der W.G. beim Wachstum von N 2 nach N 3 gezeigt. Es wurde hier die Vorbehandlung für die einzelnen W.K. dieser W.G. verschieden gewählt, um eine Übersicht über die Größenordnung der „Inaktivierung" der Oberfläche zu gewinnen. Daraus ist ersichtlich, daß die W.K. 6 und 9, sowie die W.K. 10 und 11 innerhalb der Fehlergrenze gleiche v_{hkl} besitzen. Man kann erkennen, daß durch die länger dauernden Untersuchungen bei W.K. 9 und 10 gegenüber den W.K. 6 und 11, bei denen nur einige Zentraldistanzen bestimmt wurden, keine wesentliche Änderung der Versuchsergebnisse erfolgt ist. Wenn die W.K. 6 und 9 einerseits, 10 und 11 andererseits erhebliche Unterschiede der V.G. aufweisen, so ist dies auf die bei den letzteren vorgenommene Anlösung in Wasser zurückzuführen, die zusätzlich zu der üblichen Behandlung mit absolutem Alkohol hinzutrat. Die Abweichungen werden somit verständlich, denn die Einwirkung des Wassers ändert natürlich die vermessenen Zentraldistanzen weit stärker als der Alkohol. Man erhält aber vergleichbare Werte, wenn man den Gewichtsverlust

der Anlösung dadurch auszuschalten versucht, daß man eine proportional kürzere Versuchsdauer annimmt, d. h. soviel Stunden vom Gesamtwert abzieht, wie zur Nachlieferung der abgelösten mg NaCl erforderlich sind. Berechnet man auf diese Weise korrigierte v_{hkl} für den W.K. 10, so erhält man für v_{111} 34,78 μ/Tag, für v_{210} 40,82 μ/Tag. Aus der nunmehrigen Übereinstimmung der V.G.$_{210}$ kann man ersehen, daß vorsichtiges und schnelles Arbeiten beim Vermessen der W.K. eine Möglichkeit der Inaktivierung der Kristalloberfläche wesentlich vermindert, denn man darf wohl annehmen, daß die hier benutzte verstärkte Anlösung mit Wasser vor dem Weiterwachsen ungefähr den Zustand darstellt, der einem „frischen" W.K. entspricht. Daß ein derartiges Verfahren durchaus nicht zweckmäßig ist, zeigt die Abweichung der V.G. für {111}. Die Berechnung der „korrigierten" V.G. vermag eben nicht, den wirklich eingetretenen Fehlbetrag auszugleichen, da ja die Anlösung nicht für alle Flächengebiete gleich stark ist. Die im Abschnitt I A angegebene Behandlungsweise der W.K., und das kann man auf Grund der genannten Zahlen ersehen, kann nicht die Möglichkeit ausschalten, daß gewisse Veränderungen der Oberfläche der W.K. eintreten. Sie gibt aber die Gewähr, daß unter der Voraussetzung sehr vorsichtigen Arbeitens grobe Fehler und Verzerrungen der Meßergebnisse nicht zu befürchten sind.

Tabelle 13.

Verschiebungsgeschwindigkeiten in μ/Tag gemessen im Stadium N 3.

W.K.	6	9	10	11
v_{100}	0	0	0	0
v_{111}	36,75	37,11	29,12	29,78
v_{210}	40,87	40,49	34,27	33,92

Es muß an dieser Stelle erwähnt werden, daß die von E. Ernst (1) gefundene Abnahme der V.G. bei Anwesenheit von Z.G. nicht bestätigt werden konnte. Wohl zeigt das Wachstum zwischen K 1 und K 2 eine Besonderheit, die noch genauer Nachprüfung bedarf,

sobald eine bessere Berücksichtigung der Morphologie bei der Messung der Zentraldistanzen möglich ist. {210} erscheint nämlich im Gegensatz zu den üblichen Beobachtungen in diesem Stadium langsamer als das {111}. Allerdings ist der Unterschied so gering, daß vorläufig die Fehlergrenze bei der Ausmessung eine eindeutige Entscheidung nicht gestattet. Diese Abweichung von der gewöhnlichen Stufenreihe der V.G. könnte leicht auf die große Anzahl der im Oktaederbereich vorhandenen einspringenden Winkel zurückzuführen sein. Bei allen vermessenen W.K. konnte aber niemals festgestellt werden, daß die Anwesenheit des Z.G. die V.G. vermindert. Es liegt die Vermutung nahe, daß sich hier ein Fehler eingeschlichen hat, der von der Nichtbeachtung der morphologischen Entwicklung herrührt. Dies wird umso wahrscheinlicher, wenn man z. B. an die für das {210} im Abschnitt II A beschriebenen Erscheinungen denkt. Es konnte dort gezeigt werden, daß der {210}-Bereich unter anderem anfangs {310} mitumfaßt, letzteres aber bald aus dem Gebiet verschwindet. Mittelt man also die Zunahme der Zentraldistanzen über den gesamten Flächenbereich, so enthält die V.G. für das {210} einmal den relativ großen Wert des {310}, das andere Mal nicht. Bei der Mittelwertbildung wird demnach infolge der Einebnung der Flächenstücke die Zahl der mit einbezogenen Komponenten mit großem v_{hkl} kleiner. Dies führt aber zu dem Ergebnis, daß v_{210} beim Wachstum abnimmt. Wenn es gelingt, die Beobachtungsmethoden zu verfeinern, wird man in der Lage sein, derartige Beobachtungen genauer zu formulieren. So war es z. B. bei dem vorliegenden Untersuchungsmaterial nicht möglich, eine Kombinationskante {210} : {310} scharf zu erkennen. Mit dem Verschwinden des Z.G. tritt dann innerhalb eines Flächenbereiches keine große Änderung der ihn aufbauenden Vizinalen ein, da die Mehrzahl der schnellen Flächenlagen als Begrenzungselemente der W.K. nicht mehr aufgefunden werden können.

E. Zusammenfassender Vergleich der Ergebnisse.

1. Feinausbildung und Persistenz derselben. Nachstehend soll ein Vergleich der Versuchsergebnisse über mehrere Versuchsreihen, die in den vorangehenden Abschnitten ausführlich dargelegt wurden, durchgeführt werden. Da die Bedingun-

gen für die einzelnen Wachstumsversuche nicht streng gleich sind, bzw. gleich sein konnten, wird dabei auch nur auf die wesentlichen Merkmale Wert gelegt*). Es konnten gegenüber älteren Versuchen an wachsenden Steinsalzkugeln eine Anzahl Flächen nachgewiesen werden, die dort nicht beobachtet wurden. Dies kann aber auf das Fehlen goniometrischer Vermessungen zurückgeführt werden. Von besonderer Bedeutung jedoch erscheint die allen Formen gemeinsame Eigenheit, daß sie als Vizinalenbereiche ausgebildet sind. Bei den Besprechungen der goniometrischen Ergebnisse mußte immer auf diese Tatsache hingewiesen werden. So ist z. B. der „Würfel" nicht eine mathematische Fläche. Auch finden sich die Vizinalen nicht als Begrenzungselemente von Wachstumshügeln, die mehr oder minder unregelmäßig auf der Oberfläche verstreut sitzen. Das Charakteristische der Feinausbildung ist, daß das gesamte {100}-Gebiet durch e i n e Pyramide ersetzt ist, an der mehrere Vizinalenneigungen beteiligt sind. Es konnten {hk0}-, {hkk}- und {hkl}-Vizinalen zahlenmäßig nachgewiesen werden, von denen einige besonders bevorzugt waren. Ähnliches gilt auch für die anderen Formen.

Die Eigenheit, nicht einfach indizierbare ebene Flächen, sondern um deren Schwerpunkt einen Bereich vizinaler Neigungen auszubilden, wird stark betont durch die Tatsache, daß die Vizinalen auch in den fortgeschrittensten Stadien erhalten bleiben. Darauf haben schwankende äußere Versuchsbedingungen keinen wesentlichen Einfluß, wenn man von der starken Wirkung trachtändernder Lösungsgenossen absieht, die in dieser Hinsicht noch nicht genauer untersucht ist. Bei allen beschriebenen Stadien war die Art der Feinausbildung der Flächen gleich. Dieses Verhalten sei „Persistenz der Feinausbildung" genannt. Es wird darunter verstanden, daß die Feinausbildung der Flächen aus Vizinalenbereichen bei allen „Übergangstrachten" gefunden werden kann. Genauer wird hier noch nachzuprüfen sein, ob sich Unterschiede finden, wenn man einmal eine W.G. von W.K. verschiedener Stadien untersucht,

*) Eine kurze Zusammenfassung der Resultate ist bereits in der vorläufigen Mitteilung von K. S p a n g e n b e r g (Z. Kristallogr. *100* (1938) 82—85) enthalten.

oder wenn man die Ergebnisse mehrerer aufeinanderfolgender Versuchsreihen vergleicht. Gerade diese „Persistenz" von Vizinalenbereichen, die, wie der Vergleich der einzelnen Messungsergebnisse zeigt, auch verhältnismäßig wenig „empfindlich" erscheint, tritt als wesentliches Merkmal hervor.

2. {100} - Gebiet. Für eine Zusammenfassung der Einzelbeobachtungen aller vermessenen Stadien kann es als erlaubt gelten, sofern man nur die persistenten charakteristischen Eigenheiten berücksichtigt, alle Versuchsreihen als vergleichbar zu betrachten. Dies gilt sicherlich weitgehend für die Stadien K 1, K 2 und N 3. Für das Würfelgebiet zeigen nun die goniometrischen Vermessungen in den beiden Zonen [001]* und [011]* keine wesentlichen Änderungen. Die Winkelbreite beträgt im Durchschnitt 10° und unterliegt zwar sehr kleinen Schwankungen, denen aber keine entscheidende Bedeutung zugemessen werden kann. Die Art der Reflexionserscheinungen, insbesondere der za- und zd-Werte, ist bei allen drei Stadien gleich. Immer erscheint bei etwa 2° bis 3° Winkelabstand eine durch ihre Intensität hervorgehobene Vizinale, die das gesamte Bild beherrscht. Die Zahl der vermeßbaren Reflexe kann innerhalb der bei den ausführlichen Darstellungen genannten Fehlermöglichkeiten als gleich gelten. Sie zeigen nach den Randgebieten abfallende Intensität und liegen alle zur Mitte symmetrisch. Ferner konnte dem {100} keine meßbare V.G. zugeteilt werden, solange noch andere Formen am W.K. auftraten, sein Normalenwachstum ruhte. Aus den berechneten scheinbaren Krümmungsradien geht aber hervor, daß gerade das Würfelgebiet die erheblichsten Änderungen erfährt. Es breitet sich nach den Seiten, besonders in Richtung der Flächendiagonalen relativ schnell aus, sodaß der Gesamtbereich im Vergleich zu anderen Formen als der am meisten eingeebnete erscheint. Es kann darauf verwiesen werden, daß in den Randteilen des {100} besonders häufig der Weiterbau begonnener Netzebenen erfolgt.

Die Ausheilung von Treppenstufen innerhalb des {100} wurde durch photographische Aufnahmen belegt. Es ließ sich auch zeigen, wie das Würfelgebiet die {hk0}, die in den frühen Anfangsstadien zwischen {100}- und {210}-Bereich liegen, überlagert. Die orientierende Versuchsreihe bestätigt die Beobachtungen für fortgeschrit-

tene Stadien. Als besonders bemerkenswert erscheint dabei, daß {100} die einzige Form ist, für die auf Grund vorliegender Versuche (vergl. S. 75) in reiner wäßriger Lösung eine Einebnung zu einer wirklichen „Fläche", die auch bei goniometrischen Vermessungen eindeutig erkennbar wird, beobachtet werden konnte.

3. {111}-Gebiet. Als zweitlangsamste Form wachsender NaCl-Kugeln tritt das {111} auf. Von ihm mußte festgestellt werden, daß es in seiner Entwicklung hinter den anderen Hauptgebieten nachhinkt, wie dies auch bei den scheinbaren Krümmungsradien ersichtlich wurde. Die Breite dieses Gebietes ist im Durchschnitt durch {988} und {10. 10. 9} gegeben. Allerdings sind beträchtliche Schwankungen zu verzeichnen, zumal auch {322} und {332} anscheinend zum Vizinalenbereich des {111} gerechnet werden müssen. Die Feinausbildung des {111}-Bereiches wird eigentlich erst bei N 3 erkennbar. Bei K 1 war seine goniometrische Vermessung nur sehr ungenau möglich. An Hand der Photographien konnte gezeigt werden, daß in diesem Stadium eigentlich nur ein Gebiet annähernd paralleler Flächenstücke vorliegt, die aber untereinander noch ziemliche Höhenunterschiede aufweisen. Eine wesentliche Verbesserung wurde bei K 2 festgestellt, die sich darin äußerte, daß man nun den Eindruck eines zusammenhängenden Flächengebietes gewinnt. Auch die Ergebnisse der goniometrischen Vermessungen lassen dies in der vermehrten Zahl und verbesserten Art der Reflexe erkennen. Einzelheiten der Feinausbildung treten erst bei N 3 deutlich hervor. Hier konnte mit Sicherheit nachgewiesen werden, daß außer {hkk} und {hhl} auch {hkl} das Gebiet aufbauen. Für die molekulartheoretische Deutung des Wachstums des {111} ist dies von großer Bedeutung, da das Wachsen reiner Oktaederebenen sich nicht ohne Schwierigkeiten erklären läßt. Durchschnittlich sieben Signale, die teilweise mit za zu symbolisieren waren, gestatteten hier eine recht genaue Vermessung. Dabei war nur in 30% aller möglichen Fälle {111} selbst mit einem eigenen Reflex vertreten. Eine unsymmetrische Lage desselben zu den Randgebieten ergab sich nicht. Die orientierenden Versuche zeigten ferner, daß auch bei einer Kombination von {100} und {111} die genannten Grenzen des Oktaederbereiches keine wesentliche Änderung erfahren, und daß die bei N 3 ausführlich beschriebene Feinaus-

bildung sich bei allen Übergangstrachten zwischen Kugel und Endkörper des Wachstums wiederfindet.

4. {210}-Gebiet. Als nächstschnelleres folgt das {210}-Gebiet. Hier liegt anscheinend für die V.G. die Grenze, die wenigstens in Anfangs- und mittleren Stadien die Ausbildung größerer zusammenhängender Flächenbereiche erlaubt. Das {210}-Gebiet erfährt bei seinem Wachstum eine erhebliche Veränderung. Solange nämlich zwischen {100} und {210} noch Z.G. vorhanden ist, gehört {310} mit seiner engsten Nachbarschaft zu ihm. Die Winkelbreite beträgt dann etwa 11°. {210} selbst liegt in seinem Bereich unsymmetrisch, da es nur 2° bis 3° vom Rand nach dem {110} zu entfernt ist. Dies ändert sich jedoch mit dem Zusammenstoßen von {100}- und {210}-Gebiet in einer Kombinationskante. {310} tritt aus dem {210}-Gebiet heraus, sodaß dessen Breite auf etwa 8° abfällt. {210} selbst entspricht jetzt nahezu der Mitte des Bereiches und ist in 50% aller möglichen Fälle mit einem eigenen Reflex vorhanden. Die bevorzugt auftretenden Vizinalen sind {730} und {940} nach dem Würfel hin, sowie {950} und {740} nach dem Rhombendodekaeder zu.

Als charakteristisch für die Feinausbildung des „{210}" müssen jene Reflexionen gelten, die mit dem Symbol za je etwa 1° Abstand von der theoretischen {210}-Lage besitzen. Sie treten so stark hervor, daß {210} nicht als die Hauptfläche in seinem Bereich angesehen werden kann. Beherrschend sind vielmehr diese, nur mit sehr hohen Zahlen indizierbaren Vizinalen, die je aus zwei sehr {hk0}-nahen {hkl} bestehen. Sie ließen sich in den Bildern zeigen. Auch hier ergeben orientierende Versuche, daß die beschriebene Feinausbildung bis zum Verschwinden des {210} am W.K. zu beobachten ist.

5. {110}-Gebiet. Besonders bemerkenswert ist die Erscheinung, daß in keinem Entwicklungsstadium jemals Reflexe bei der goniometrischen Untersuchung gefunden werden konnten, die sich einer „Fläche" {110} zuordnen ließen. In einigen wenigen Ausnahmefällen war in diesem Zonenabschnitt ein sehr blasser verwaschener Schimmer erkennbar, der dem theoretischen {110}-Wert mit ± 1° sehr schlecht entsprach. Dasselbe geht auch aus den goniometrischen Vermessungen der $[0\bar{1}1]^*$-Zone hervor. Es konnte

dabei besonders an N 3 einwandfrei festgestellt werden, daß in dem Helligkeitsgebiet um das {110} dieses selbst ein Intensitätsminimum aufwies, dessen Ränder teilweise vermeßbar waren. In allen Fällen macht das Gebiet um den {110}-Pol einen rauhen gestreiften Eindruck. Auch die Erscheinungen an den zylindrischen Ausgangskörpern sprechen dafür, daß sich beim Wachstum in reiner wäßriger NaCl-Lösung {110} nicht als „Fläche" entwickelt. Desgleichen wachsen {110}, die angeschliffen wurden, nicht als solche weiter, sondern bilden rauhe mit Vizinalen bedeckte Gebiete.

An Stelle des {110} treten zahlreiche Kombinationskanten von (hk0) : (kh0) auf. Ihre seitlichen Begrenzungen besitzen recht gut vermeßbare Reflexionen mit den Intensitäten V und IV. Auch hier ist ein ganzer Bereich von Flächenlagen zu finden, dessen Grenzen von {320} bis {760} reichen. Im allgemeinen ist immer nur eine, höchstens zwei von ihnen entwickelt. Welche {hk0} aber im Einzelfall ausgebildet wird, darüber läßt sich keine Gesetzmäßigkeit aufstellen. Neben einer Breitenabnahme des {110}-Gebietes in der [001]*-Zone ist ein Zurücktreten der Deutlichkeit der Streifung mit fortschreitendem Wachstumsstadium festzustellen. In der [011]*-Zone jedoch ist eine Zunahme der Flächenbreite erkennbar. Die einzelnen Rippen der Streifung, die seitlich von den genannten {hk0} begrenzt sind, wachsen in dieser Zone merklich dem Oktaeder entgegen. Ihre Köpfe sind, wie aus den ausführlichen Beschreibungen in den Abschnitten II A zu entnehmen ist, von {hhl} gebildet. Diese Vizinalen weisen mit fortschreitender Entwicklung einen immer größeren Winkelabstand zur {110}-Lage auf und treten immer deutlicher hervor. Im Stadium N 3 wurden {10. 10. 1} bis {661} vermessen. Auch die Teilstücke der Zylinderoberflächen mit ihrer flachen Krümmung, die durch die Halbmesser von 80 mm ermöglicht wurde, bestätigen die Ergebnisse. Desgleichen lassen sich alle genannten Winkellagen als Vertreter des {110} auch bei angeschliffenen großen {110} wiederfinden, wenn auch eine Streifung parallel [001]* nicht sichtbar wird.

6. {510}-Gebiet. Außer diesen Hauptgebieten konnten noch mehrere Zonenabschnitte regelmäßig bei den Untersuchungen als deutliche Begrenzungen der W.K. beobachtet werden. Die Refle-

xionen dieser Bereiche besitzen im allgemeinen geringe Intensität, sowie eine geringe Winkelbreite. Einer von ihnen ist als {510}-Bereich behandelt worden. Er ist, solange noch keine Kombinationskanten {100} : {210} auftreten, auch im Zonengürtel zu finden. In den späteren Stadien tritt er nur noch in dem Z.G. auf, das an den Enden der Kombinationskanten liegt. In 80% aller möglichen Fälle konnte dieser Bereich goniometrisch vermessen werden, wobei die zugehörigen Indizes zwischen {510} und {610} liegen, von denen das erste beträchtlich bevorzugt ist. In keinem Stadium bildet er größere zusammenhängende Flächenstücke. Immer ist der {510}-Bereich Begrenzungselement von Subindividuen des Z.G.

Ganz ähnlich verhält sich das {310}, sobald es nach der Bildung der Kombinationskante {100} : {210} aus dem {210}-Bereich ausscheidet. Solange noch Z.G. am W.K. auftritt, kann es bei den Subindividuen noch regelmäßiger als {510} gefunden werden. Breite und Intensität der Reflexe sind analog denen des {510}-Bereiches. {310} scheint länger am W.K. zu verbleiben als {510}.

7. {911}-Gebiet. In der [0$\bar{1}$1]*-Zone tritt ein {911}-Bereich auf. Seine Reflexintensität beträgt immer V bei geringer Reflexbreite. Er ist regelmäßig vorhanden. Neben dem bevorzugten {911} können noch {811} und {711} in Ausnahmefällen außerdem {10. 1. 1} und {611} vermessen werden. Auch dieser Bereich ist nur als Begrenzungselement der Subindividuen des Z.G. zu beobachten. Recht selten folgen ihm nach dem Oktaeder zu noch einige Reflexionsstellen, die dann etwa zu {733} und {744} zugeordnet werden konnten. Genaue Entscheidungen lassen sich für den Sektor der [0$\bar{1}$1]*-Zone zwischen {911} und {111} nicht treffen, solange nicht, wie auf S. 50 betont wurde, die goniometrischen Einrichtungen hinreichend verfeinert sind.

Dieses gilt auch für das Gebiet zwischen {111} und {110}, in dem nur mit der photographischen Einrichtung einige Reflexionsstellen erhalten wurden. Es wirkt sich hier die Kleinheit der Begrenzungsflächen der Subindividuen aus, die außerdem noch weit voneinander verstreut liegen. Es hat den Anschein, als ob sie mit den benutzten Hilfsmitteln nur dann untersuchbar wären, wenn sie sich in der Nähe von {100}, {111} und {110} zusammendrängen.

Schluß.

Folgerungen aus den Versuchsergebnissen.

Wenn in vorliegender Arbeit eine weitgehende Verbesserung und Verfeinerung der Wachstumsapparatur erreicht wurde, so wurde damit auch eine Steigerung der Güte der W.K. erzielt. Dies zeigt sich darin, daß bei den Vermessungen festgestellt werden konnte, daß Unebenheiten der einzelnen Flächen ausheilten. Es sei hier auf das Verschwinden der Treppenstufen, die beim {100} und {111} in dem frühesten Stadium K 1 noch vorhanden waren, hingewiesen. Auch die Streifung des {110}-Gebietes wurde flacher mit fortschreitender Entwicklung. Mit der benutzten Apparatur ist es also möglich, die Wachstumsvorgänge richtiger zu erfassen, als es bisher erreicht werden konnte. Die Unzahl der experimentellen Störungen ist beseitigt, und es besteht keine Gefahr mehr, wie E. Ernst (1, S. 42), wegen zunehmender Verrauhung der Flächen die Versuchsreihen abzubrechen. Wenn dieser Fall eintritt, dann haben eben alle Mängel der Apparatur das Wachstum so weit „verzerrt", daß man keine vermeßbaren Flächen mehr erhält.

Aus der Tatsache, daß nicht „Kristallflächen", sondern Vizinalenbereiche an den W.K. entwickelt werden, ergibt sich weiter, daß die benutzten Ausmessungsverfahren noch verbessert werden müssen, um die Feinausbildung der einzelnen auftretenden Formen restlos erfassen zu können. So konnte am {210} z. B. gezeigt werden, daß die übliche Art der Bestimmung der V.G. große Fehlerquellen einschließt, deren Beseitigung angestrebt werden muß. Dazu ist eine Verbesserung der goniometrischen Hilfsmittel ebenso erforderlich wie eine Verbesserung der Ausmessung der Zentraldistanzen. Zahlenangaben der Morphologie und mit deren Berücksichtigung gewonnene V.G. werden den Weg zur weiteren Erkenntnis des Kristallwachstums bahnen.

Die vorliegende Arbeit kann hier nur einen Anfang bedeuten, da mancherlei neue Gesichtspunkte für die Untersuchung der W.K. aufgezeigt wurden, die z. T. noch der Ergänzung bedarf. Überdies aber ist zu beachten, daß die wesentlichen Ergebnisse der Reihen K 1 und K 2 an W.K. gewonnen wurden, bei denen alle Hauptflächengebiete von Z.G. umgeben waren. Bei den Reihen N war

nur eine Art von Kombinationskanten, nämlich {100} : {210} vorhanden. Mit ihrem Auftreten erfolgte das Verschwinden des {310} aus dem {210}-Bereich. Die Untersuchungen werden nun auf jene Stadien mit allen Übergangstrachten auszudehnen sein, bei denen neben dem restlosen Verschwinden des Z.G. auch andere Kombinationskanten, etwa (210) : (120) {100} : {111} oder {210} : {111} ihren Einfluß auf das Wachstum wirksam werden lassen. In dieser Hinsicht werden dann goniometrische Vermessungen auch in den Zonen erforderlich, deren Achsen die eben genannten Kombinationskanten sind. Daß hierbei noch manche charakteristischen Züge der Feinausbildung der einzelnen Flächen gefunden werden können, darauf weist unter anderem auch das Verschwinden der Hauptvizinalen des {100} beim Vorhandensein der Würfelecken hin.

Die beachtliche Regelmäßigkeit der Ausbildung der Vizinalen läßt erkennen, daß der Ersatz ebener Kristallflächen durch Vizinalenbereiche zum mindesten für die gewählten Versuchsbedingungen als Baugesetz gelten kann. Es waltet bestimmt kein Zufall, wenn z. B. alle 24 Würfelflächen einer W.G. ganz gleichmäßig als e i n e monozentrische Vizinalenpyramide ausgebildet werden. Ebenso muß auch die Feinausbildung aller anderen Formen als strukturbedingt erscheinen. Damit wird aber auch eine Prüfung der Anschauungen der Entstehung der Vizinalen erforderlich*). Eine Gesetzmäßigkeit im Auftreten und der Art der Entwicklung, wie sie bei der Beschreibung der Versuchsergebnisse eindeutig hervortrat, muß auch wohl definierte Bildungsursachen besitzen. Es wäre verfrüht, auf Grund des vorliegenden Materials das Problem klären zu wollen. Eines aber darf als sicher gelten, Vizinalen nur als „Krankheitserscheinungen" der Kristallflächen anzusprechen, würde eine Verkennung der mannigfaltigen Beziehungen Kristall-isotrope Phase bedeuten.

Darüber hinaus wird es möglich sein, wenn erst hinreichend experimentelle Unterlagen, für die diese Arbeit nur einen Anfang darstellt, vorliegen, die theoretischen Wachstumsvorstellungen mit den verschiedenen Anlagerungsmöglichkeiten genauer zu formu-

*) W. K l e b e r (Fortschr. Mineral. Kristallogr. Petrogr. *21* (1937) 169) hat unlängst eine eingehende Darstellung des Problems gegeben.

lieren. Es kann hier darauf hingewiesen werden, daß eine molekulartheoretische Deutung des Wachstums des {111} nicht ohne Schwierigkeiten gelingt. Der Aufbau aus einer wechselnden Folge von Ebenen mit nur positiven bzw. negativen Bausteinen würde durch die Bildung der Vizinalen gleichsam umgangen. Es ließen sich noch eine ganze Reihe von weiteren Beispielen anführen, in welcher Richtung die Vorstellungen des Kristallwachstums erweitert werden können. Es sei hier an die Möglichkeiten gedacht, die sich ergeben, wenn man nicht nur die Anlagerung von Einzelionen und Ionenpaaren sondern auch von noch größeren Bausteinen berücksichtigt*). Desgleichen ließen sich manche recht wichtigen Aufschlüsse über das „tangentiale" Wachstum gewinnen. Auf Grund des vorliegenden Materials allein in dieser Hinsicht konkrete Vorstellungen zu entwickeln, erscheint noch verfrüht. Es muß aber betont werden, daß die Feinausbildung und deren Persistenz in erster Linie als experimentelle Grundlagen für eine molekulartheoretische Deutung der Entwicklung der „Flächen" der Kristalle heranzuziehen sein wird.

Zusammenfassung.

1. Die von K. Spangenberg (9) im Verein mit seinen Schülern F. Gille (2) und A. Neuhaus (7) entwickelte Wachstumsapparatur wurde weitgehend verbessert. So wurde die Temperaturkonstanz auf ± 0,002° C erhöht, wobei ± 0,001° C erreichbar ist. Vortrocknung der Luft und Rückwägung des entzogenen Wassers arbeiteten auch bei hohen Durchleitungsgeschwindigkeiten einwandfrei und blieben selbst bei sehr langen Versuchszeiten ohne Störung. Das W.Gef. und das Luftleitungssystem sind durch Vermeidung von Gummidichtungen auch monatelang luft- und feuchtigkeitsdicht. Die Steinsalzlösung wurde peinlichst durch Absaugen durch ein sehr feines Glasfrittenfilter von allen zugemengten Fremdstoffen befreit, sodaß eine Keimbildung während der Wachstumsversuche in keinem Falle beobachtet wurde.

*) Dieser Gedanke wurde von J. N. Stranski gelegentlich seiner Anwesenheit in Breslau anläßlich der Tagung der Deutschen Bunsen-Gesellschaft ausgesprochen.

2. Von dem als einwandfrei erkannten Grundsatz der Verwendung einer W.G. wurde nicht abgegangen. Für die Untersuchungen wurden sowohl natürliches Steinsalz als auch künstliche, d. h. aus der Schmelze gezogene, NaCl-Kristalle benutzt. Eine Inaktivierung der Oberfläche der W.K. während der Vermessungen konnte bei der gewählten Behandlungsweise auf einen äußerst geringen Umfang beschränkt werden. Außer Kugeln gelangten auch W.K. mit zylindrischen Krümmungen und polyedrische W.K. zur Verwendung.

3. Die entstandenen Flächenlagen der W.K. wurden an einem einkreisigen Goniometer in den Zonen [001]* und [0$\bar{1}$1]* vermessen. Außerdem wurden die einzelnen Flächenteile in Reflexionsstellung photographiert. Eine Ausmessung der Zentraldistanzen und der Flächenbreiten ergänzte die Beobachtung.

4. Die Untersuchungen ergaben, daß nicht Flächengebilde entstehen, die möglichst weitgehend der idealen geometrischen Lage der ihnen zuzuschreibenden einfachen Indizes entsprechen, sondern es werden an ihrer Stelle „Vizinalenbereiche" an den W.K. ausgebildet. Diese sind als Reflexionsgebiete deutlich voneinander abgegrenzt. Dabei konnten bestimmte Zonenabschnitte zu den folgenden Bereichen zusammengefaßt werden: {100}-, {111}-, {210}-, {750}-, {510}- und {911}-Gebiet.

5. Für das {100}-Gebiet ergibt sich, daß es im wesentlichen von {hk0}-Vizinalen mit einem Winkelabstand von 2° bis 3° gegenüber der reinen {100}-Lage beherrscht wird. Mit gleicher Intensität finden sich auch sehr {hkk}-nahe {hkl}. Ein eigentlicher {100}-Reflex wurde nur beobachtet, wenn auch das {210} am W.K. verschwunden ist. Die intensiven Vizinalen verschwinden erst am Endkörper.

6. Das {111}-Gebiet erscheint gegenüber den anderen am W.K. als am schlechtesten entwickelt. Es besteht außer aus {hkk}- und {hhl}-Vizinalen aus jenen sehr benachbarten {hkl}. Mit fortschreitender Entwicklung bleiben diese erhalten.

7. Das {210}-Gebiet weist nicht {210} selbst als Hauptteil auf. Charakteristisch und besonders hervortretend sind {hkl}-Vizinalen, die zu dem theoretischen {210}-Wert nur einen sehr geringen Winkelabstand besitzen. Ehe {210} mit dem {100} in einer Kombinationskante zusammentrifft, umfaßt sein Bereich das {310} mit. Letz-

teres ist späterhin als Begrenzungselement von Subindividuen des Z.G. zu finden, bis dieses am W.K. verschwunden ist.

8. Eine eigentliche „Fläche" {110} konnte nicht gefunden werden. Dieser Zonenabschnitt ist als ein rauh erscheinender vizinal gestreifter Bereich zu beschreiben. In der [001]*-Zone konnte ein {750}-Gebiet vermessen werden, während in der [0$\bar{1}$1]*-Zone {10. 10. 1} bis {661} auftreten.

9. Zwischen {100}- und {210}-Gebiet findet sich ein Reflexionsbereich, der im Durchschnitt {510} entspricht. Beim Auftreten der Kombinationskante {100} : {210} erscheint er als Begrenzungselement der Subindividuen des Z.G.

10. In der [0$\bar{1}$1]*-Zone ließ sich bei der Lage {911} regelmäßig ein Reflexionsbereich vermessen. Ob noch weitere möglich sind, etwa {211} oder {221}, konnte mit dem benutzten Goniometer nicht entschieden werden. Es würde sich ebenfalls um Begrenzungselemente von Subindividuen des Z.G. handeln, die sehr verstreut liegen.

11. Die gefundenen Vizinalenbereiche sind gegenüber geringen Änderungen der Versuchsbedingungen wenig empfindlich. Sie bleiben auch mit fortschreitender Entwicklung am W.K. Die „Persistenz" der Feinausbildung der einzelnen Flächen konnte wenigstens in großen Zügen bewiesen werden.

12. Messungen von V.G. bestätigten die grundlegenden Tatsachen, die bei A. Neuhaus (7) beschrieben wurden. Im Gegensatz zu E. Ernst (1) konnte eine Abnahme der V.G. infolge Vorhandenseins des Z.G. nicht gefunden werden.

13. Messungen der Flächenbreiten ergänzen die Beobachtungen und weisen darauf hin, daß besonders in den Randteilen des {100} während der untersuchten Stadien Wachstumsschritte am häufigsten erfolgen.

14. Ein charakteristischer Unterschied zwischen natürlichem Steinsalz und aus der Schmelze gezogenen NaCl-Kristallen als Ausgangsmaterial für die W.K. wurde an den Versuchsreihen nicht beobachtet.

15. Unebenheiten der Flächen heilen aus, sofern grobe Beschädigungen und Störungen vermieden werden.

16. Nachdem die Wachstumsapparatur hinreichend verfeinert ist, erscheint es notwendig, mit den besten Hilfsmitteln sowohl noch feinere goniometrische Vermessungen als auch noch genauere Bestimmungen der Zentraldistanzen durchzuführen. Dabei sind alle Übergangstrachten zwischen Ausgangskugel und Endkörper zu prüfen, um ein möglichst genaues Bild aller morphologischen Feinheiten und ihrer Fortentwicklung zu erhalten. Dies erscheint erforderlich, da die persistente Feinausbildung die experimentelle Grundlage für eine molekulartheoretische Deutung der Entwicklung der „Flächen" der Kristalle liefert.

Vorliegende Arbeit wurde auf Veranlassung von Herrn Professor Dr. K. Spangenberg durchgeführt. Es sei mir erlaubt, meinem hochverehrten Lehrer für seine Anregungen und sein stetes Interesse aufrichtig zu danken.

Mein besonderer Dank gebührt der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Beschaffung des Herrn Professor Dr. K. Spangenberg für diese und andere Kristallwachstums-Untersuchungen zur Verfügung gestellten und von mir mitbenutzten Tiefentasters.

Literaturverzeichnis.

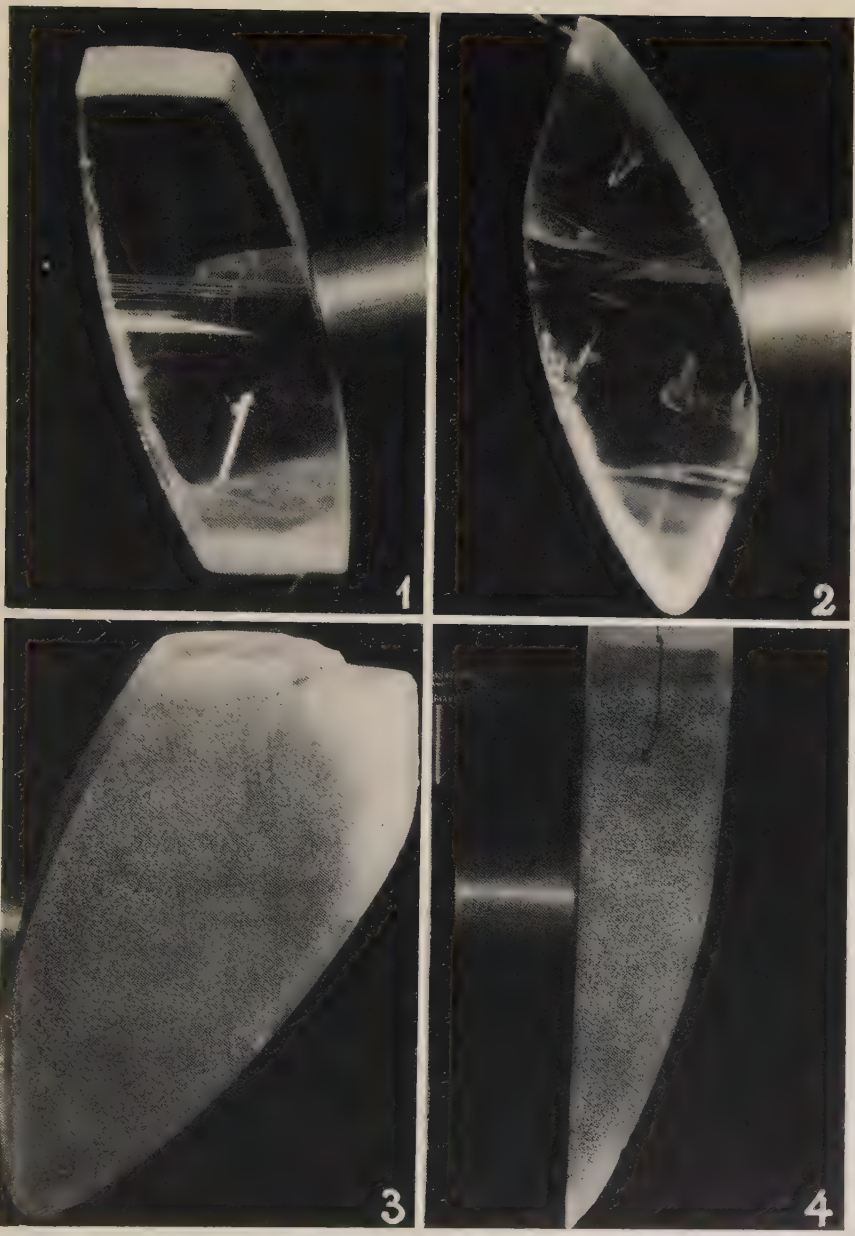
1. Ernst, E., Beitrag zur Frage der Abhängigkeit der Verschiebungsgeschwindigkeiten der Flächen eines wachsenden Kristalles von seinen Begrenzungselementen. Z. Kristallogr. *96* (1937) 38—77.
2. Gille, F. und Spangenberg, K., Beiträge zur Trachtbeeinflussung des NaCl durch Harnstoff als Lösungsgenossen. Z. Kristallogr. *65* (1927) 204—250.
3. Korth, K., Dispersionsmessungen an Kaliumbromid und Kaliumjodid im Ultraroten. Z. f. Phys. *84* (1933) 677—685.
4. Kyropoulos, S., Ein Verfahren zur Herstellung großer Kristalle. Z. anorg. u. allg. Chem. *154* (1926) 308—313.
5. Lorenz, H., Absorptionen und Farben in Alkalihalogenidkristallen. Fortschr. Mineral. *20* (1936) 290—323.
6. Meyer, Jul. und Pfaff, W., Zur Kenntnis der Kristallisation von Schmelzen. Z. anorg. u. allg. Chem. *217* (1934) 257—271.
7. Neuhaus, A., Messungen von geometrischen Verschiebungsgeschwindigkeiten am NaCl und deren Abhängigkeit von Begrenzungsart, Konzentration und Lösungsgenossen. Z. Kristallogr. *68* (1928) 15—81.
8. Rix, W., Über Kristallisation im elektrischen Feld. Z. Kristallogr. *96* (1937) 155—181.
9. Spangenberg, K., Beiträge zur Erkenntnis des Kristallwachstums. Neues Jb. Mineral. Geol. Paläont. *57* (A) (1928) 1197—1302.
10. Spangenberg, K., Wachstumsgeschwindigkeitsmessungen am Kalialaun I. Z. Kristallogr. *61* (1925) 189—225.
11. Spehl, H., Experimentelle Untersuchungen über das Auftreten echter krummer Kristallflächen bei Kristallisationen aus der Lösung. Neues Jb. Mineral. Geol. Paläont. *71* (1936) (A) 121—162.

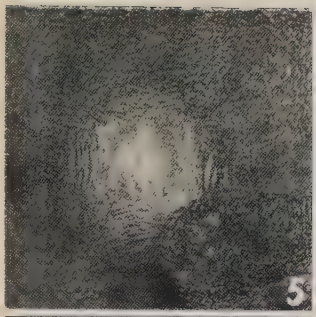
Abkürzungsverzeichnis.

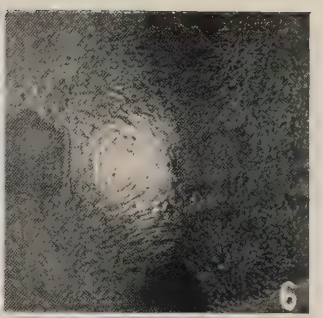
Ü.S.	Übersättigung.
V.G.	Verschiebungsgeschwindigkeit.
W.G.	Wachstumsgemeinschaft.
W.Gef.	Wachstumsgefäß.
W.K.	Wachstumskörper.
Z.G.	Zwischengebiet.

Tafelerklärung.

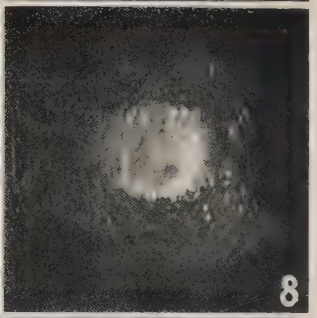
Abb. 1— 4	W.K. mit zylindrischen Krümmungen, $\frac{2}{3}$ nat. Gr. (vgl. S. 23)
Abb. 5—11	Flächenentwicklung in [001]* für K 1. (vgl. S. 36—37)
Abb. 12—15	Flächenentwicklung in [$0\bar{1}1$]* für K 1. (vgl. S. 40—41)
Abb. 16—29	Flächenentwicklung in [001]* für K 2. (vgl. S. 47—49)
Abb. 30—49	Flächenentwicklung in [$0\bar{1}1$]* für K 2. (vgl. S. 51—53)
Abb. 50—55	Flächenentwicklung in [001]* für N 1 und N 2. (vgl. S. 54—55)
Abb. 56—64	Flächenentwicklung in [$0\bar{1}1$]* für N 1 und N 2. (vgl. S. 56—57)
Abb. 65—77	Flächenentwicklung in [001]* für N 3. (vgl. S. 63—64)
Abb. 78—86	Flächenentwicklung in [$0\bar{1}1$]* für N 3. (vgl. S. 68—69)
Abb. 87—88	{110}-Gebiet am W.K. 37. (vgl. S. 71)
Abb. 89	{110}-Gebiet am W.K. 35. (vgl. S. 72)

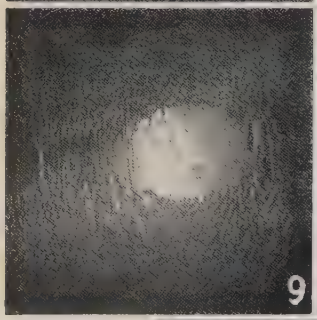

1
2
3
4

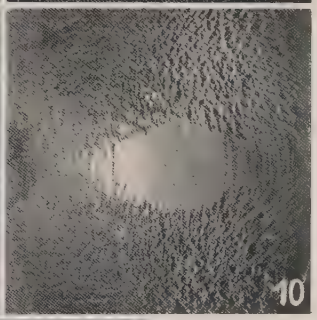

5

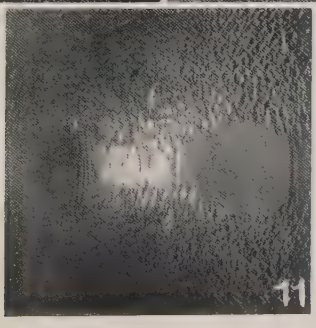

6

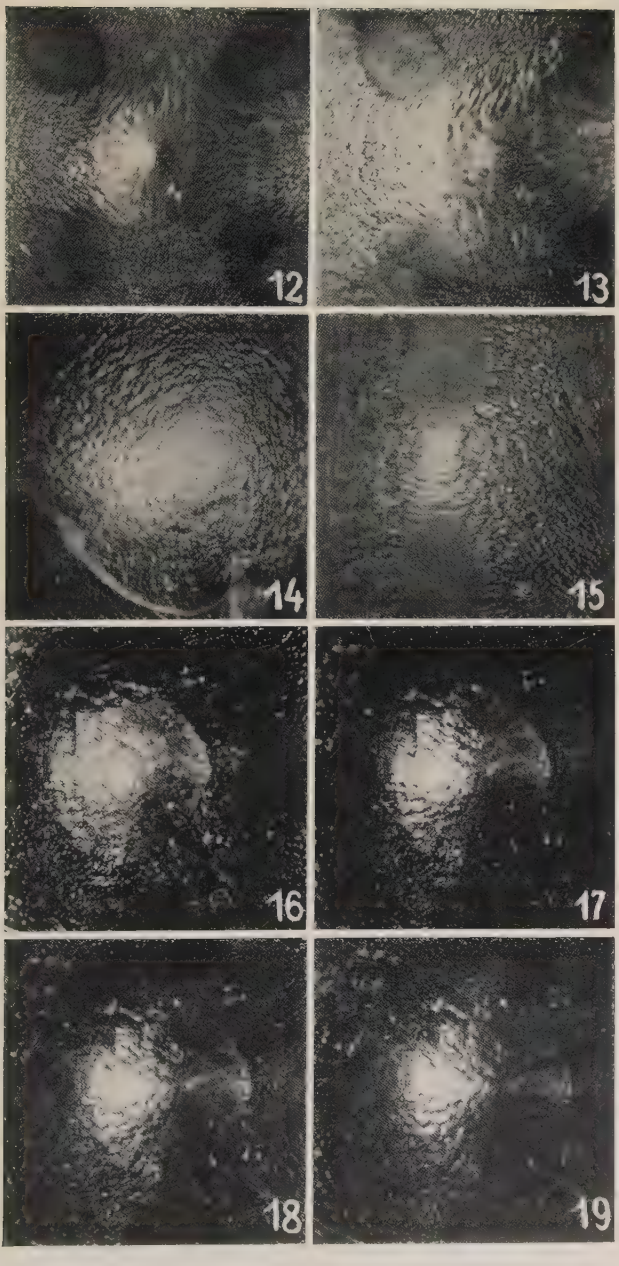
7

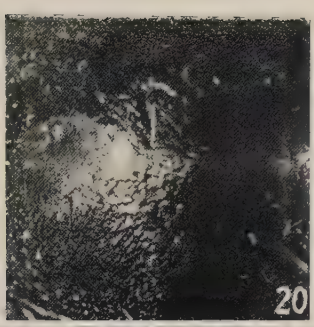

8

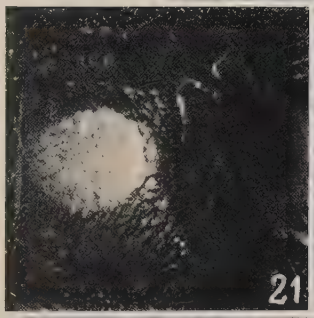

9

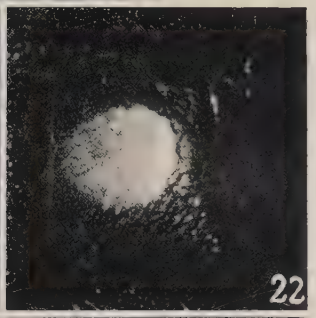

10

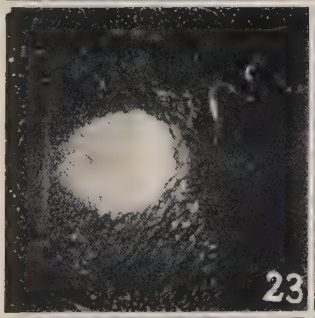

11

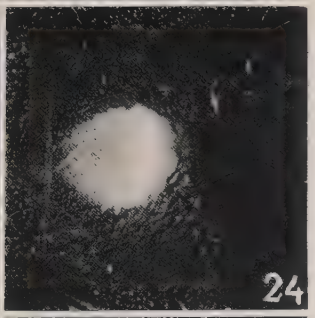

12
13
14
15
16
17
18
19

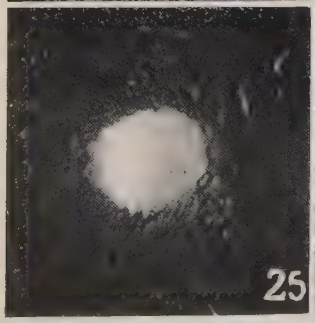

20

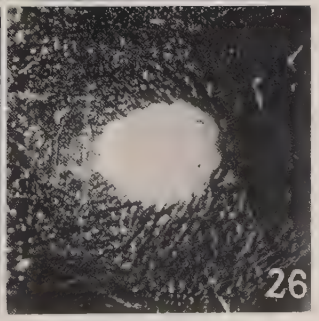

21

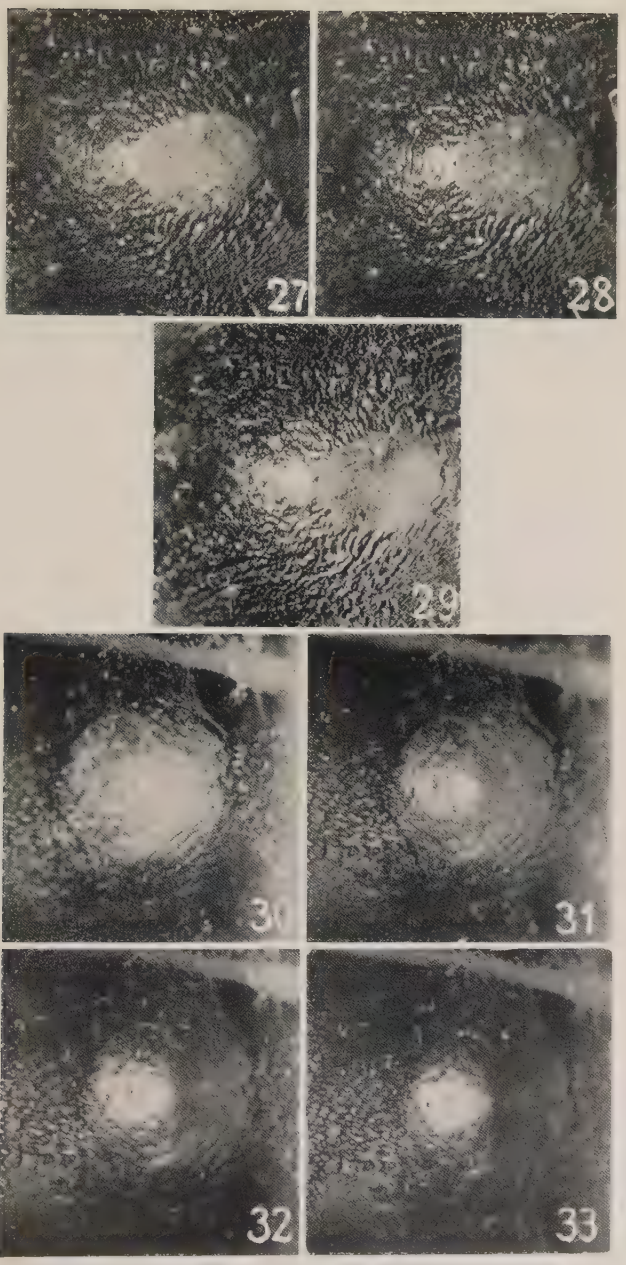

22

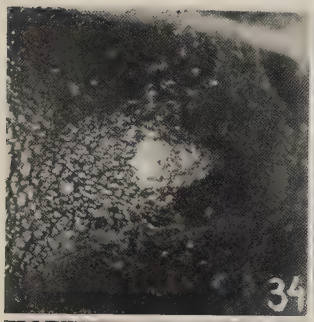

23

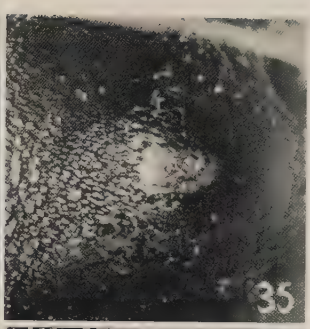

24

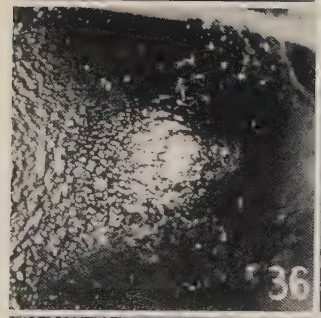

25

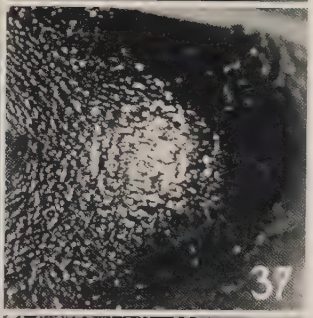

26

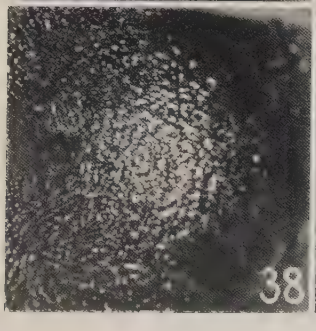

27
28
29
30
31
32
33

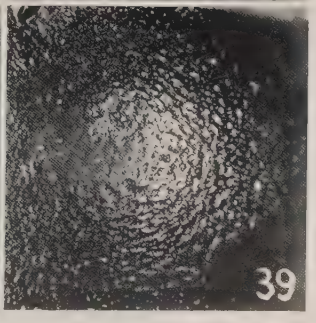

34

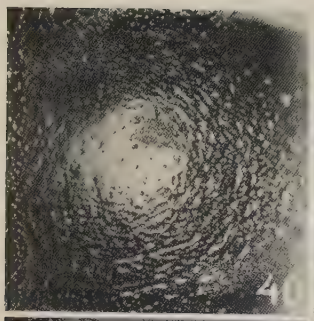

35

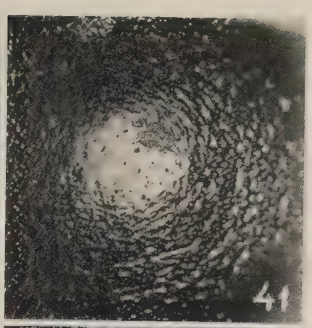

36

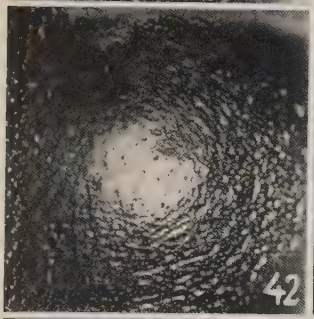

37

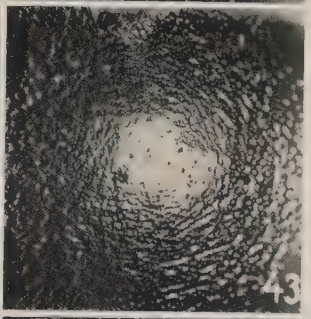

38

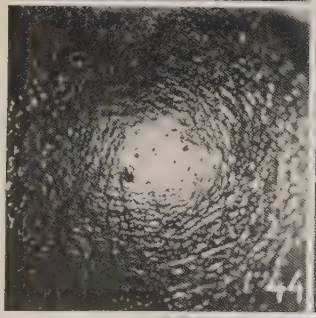

39

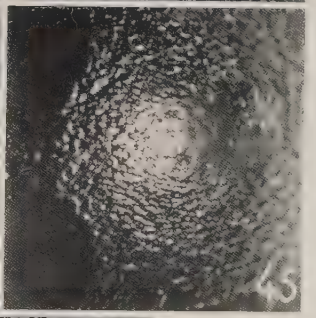

40

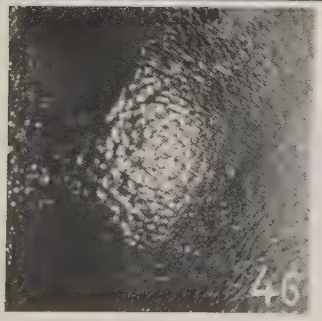

41

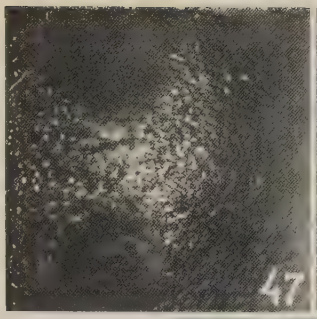

42

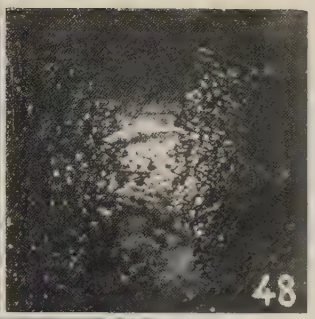

43

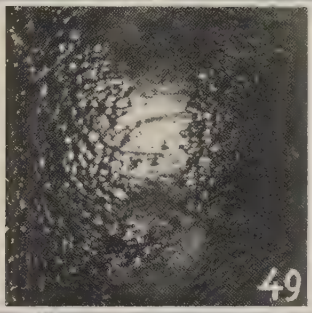

44


45


46

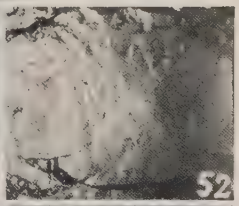

47

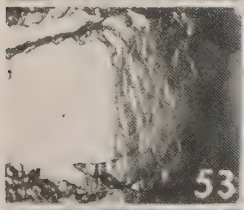

48

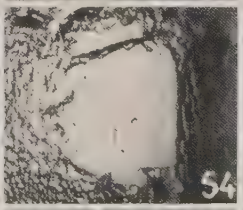

49

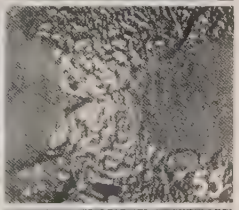
50

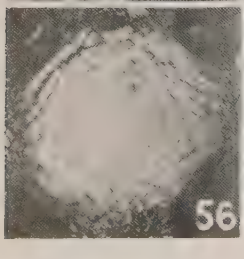
51


52

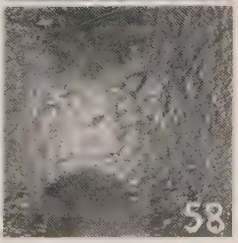

53

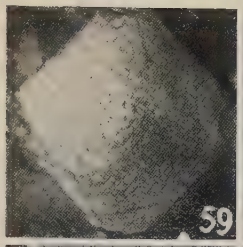

54

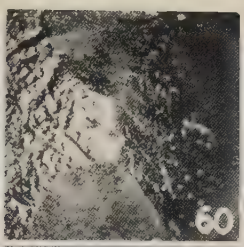

55

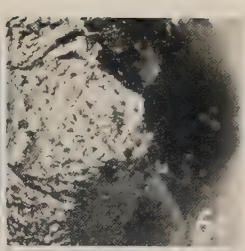

56

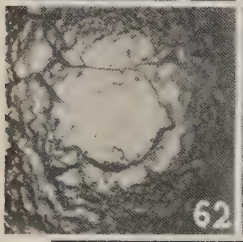
57

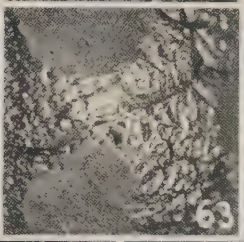

58

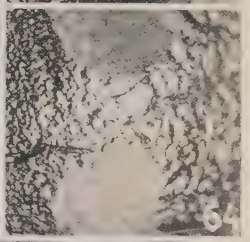

59

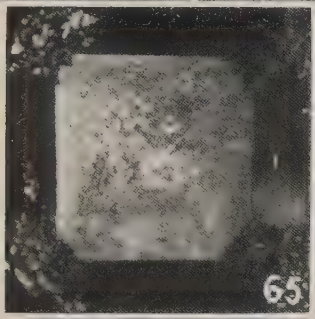

60

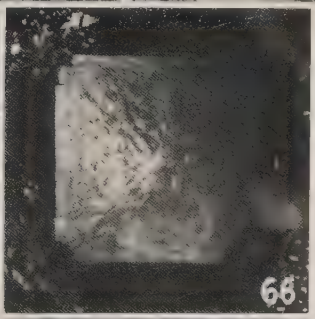


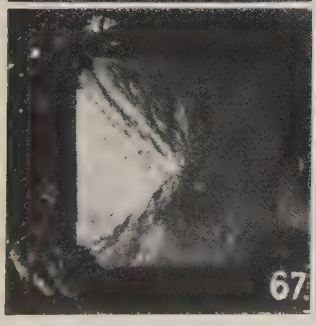

62

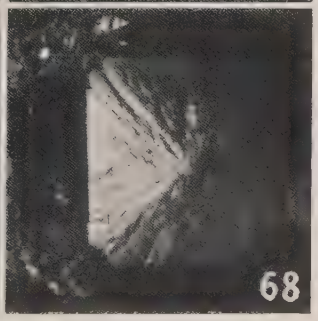

63

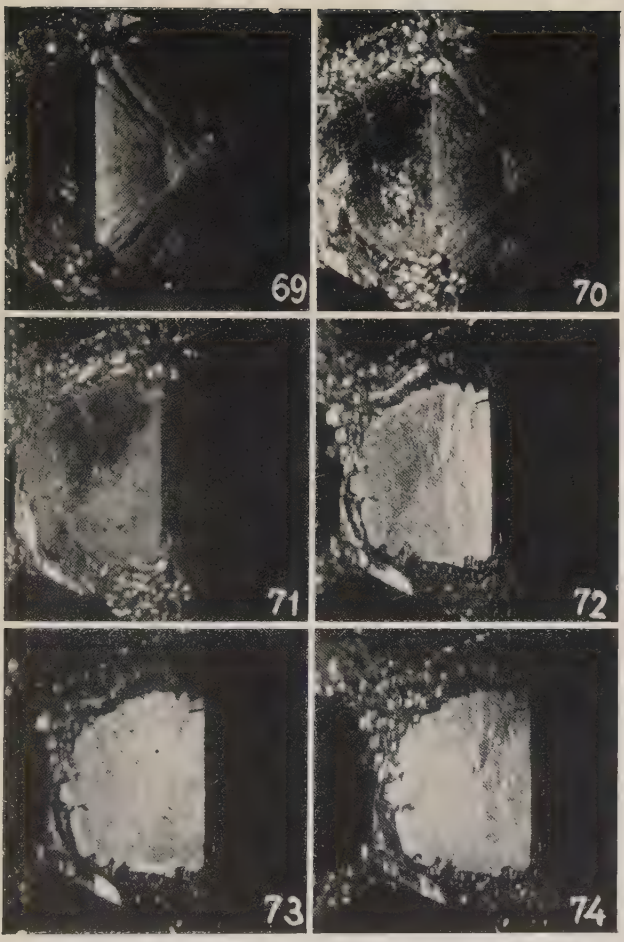

64

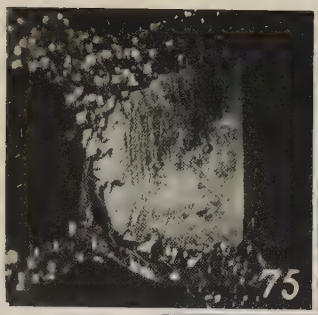

65

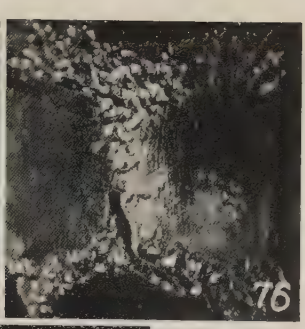

66

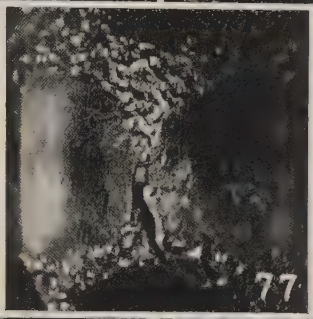

67

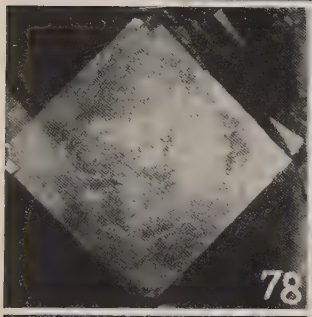

68

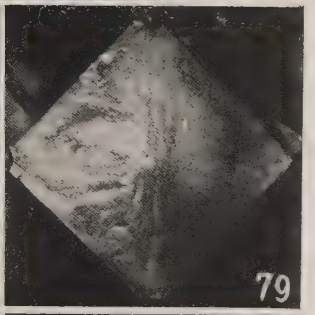

69
70
71
72
73
74

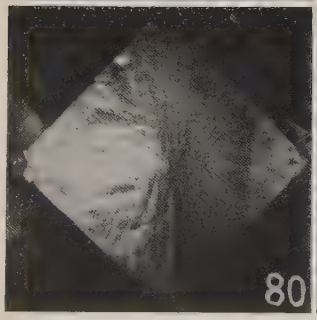

75

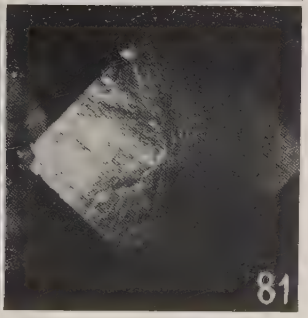

76


77

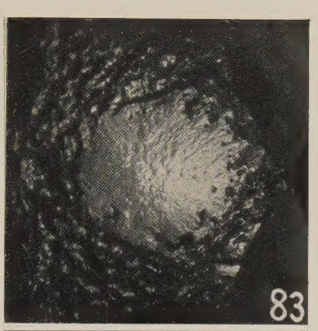

78

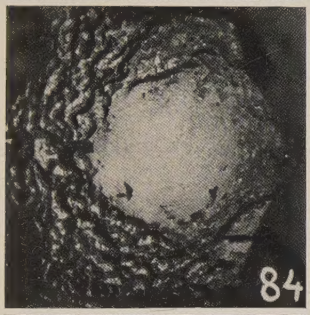

79

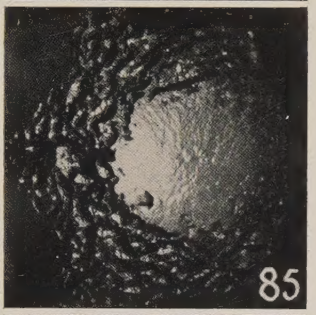

80


81

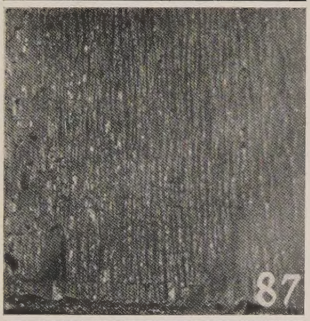
82

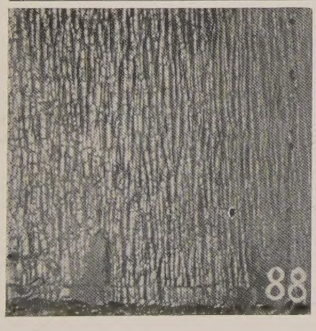

83

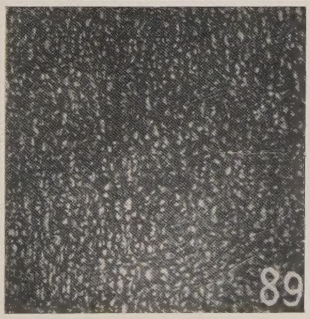

84


85

86


87


88


89

Lebenslauf.

Am 10. Juli 1911 wurde ich als Sohn des Stadtbaumeisters Paul Nitschmann und seiner Ehefrau Emma, geb. Wende, zu Freystadt N.Schl. geboren. Nach dreijähriger Vorschulzeit besuchte ich das Realgymnasium zu St. Elisabet in Breslau und legte an dieser Anstalt 1929 die Reifeprüfung ab. Vom Sommersemester 1929 bis zum Wintersemester 1935/36 war ich an der Schlesischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Breslau immatrikuliert. Im Sommersemester 1932 begann ich im Mineralogischen Institut mit dem Studium wissenschaftlicher Arbeitsmethoden. Zwei Jahre später fing ich meine Doktorarbeit über Kristallwachstum an. Seit dem Sommersemester 1933 wurde ich als Hilfsassistent in den Übungen beschäftigt und seit dem Sommersemester 1935 als Übungs- und Vorlesungsassistent. Vom 1. Juni 1936 ab wurde mir die Verwaltung einer planmäßigen Assistentenstelle übertragen.

Hans Nitschmann.